

# **Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen**

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

**Verkehrstechnik Heft V 240**



**bast**

# Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen

von

Reinhold Baier  
Philipp Leu  
Alexandra Klemps-Kohnen  
Angelika Reinartz

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

Reinhold Maier  
Martin Schmotz

Technische Universität Dresden  
Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik  
mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung

**Berichte der  
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 240

**bast**

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

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

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

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

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

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

## Impressum

**Bericht zum Forschungsprojekt FE 77.491/2008:**  
Ableitung von Einsatzbereichen und -grenzen von  
Minikreisverkehren

### Fachbetreuung

Tobias Teichner

### Herausgeber

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

### Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

### Druck und Verlag

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

ISSN 0943-9331  
ISBN 978-3-95606-096-0

Bergisch Gladbach, Juli 2014

## Kurzfassung – Abstract

### Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen

In vielen Fällen hat sich die Anlage von Minikreisverkehren im innerörtlichen Straßennetz sowohl hinsichtlich der Verkehrssicherheit als auch des Verkehrsablaufs bewährt. Als problematisch ist die in der Praxis recht uneinheitliche Anordnung bzw. Ausbildung von wichtigen Elementen wie Kreisinseln, Fahrbahnteilern und Fußgängerüberwegen einzustufen. Zudem werden wegen der Vorteile hinsichtlich Flächenverbrauchs und Kosten insbesondere auf Hauptverkehrsstraßen und in Ortsdurchfahrten wichtige Einsatzkriterien wie Erkennbarkeit und Einhaltung der Kapazitätsgrenzen weniger beachtet.

Ziel des Forschungsvorhabens war es daher, die in der Praxis anzutreffende Vielfalt zu erfassen und auf Grundlage empirischer Untersuchungen belastbare Aussagen zur Verkehrssicherheit und zur Qualität des Verkehrsablaufs in Abhängigkeit von Lage und Funktion im Netz und der jeweiligen Ausgestaltung der Minikreisverkehre zu gewinnen.

Die methodische Vorgehensweise und das sich hieraus ergebende Arbeitsprogramm sahen für die Umsetzung fünf aufeinander aufbauende, teilweise parallele Arbeitsschritte vor:

- Übersicht und Typisierung realisierter Minikreisverkehre durch eine bundesweite Recherche mittels Fragebogen,
- Bewertung der Verkehrssicherheit an ca. 100 Minikreisverkehren (Analyse der Unfallcharakteristik, Unfall- und Verunglücktenstruktur sowie Berechnung und Vergleich der Unfallkennwerte),
- Bewertung der Verkehrsqualität und Entwicklung eines Berechnungsverfahrens anhand von 10 Fallbeispielen,
- Erhebung der Lärmbelastung an Minikreisverkehren mit unterschiedlichem Oberflächenbelag der befahrbaren Kreisinsel und
- Ableitung von Empfehlungen.

Im Ergebnis wurden Grundunfallkostenraten für Minikreisverkehre für die Aufnahme in das HVS vorgeschlagen. Für die Beurteilung des Verkehrsab-

laufs wurde ein Verfahrensvorschlag für das HBS auf Basis der Zeitlückentheorie abgeleitet und Auswirkungen unterschiedlicher Kreisinselausführungen auf die Lärmbelastung ermittelt sowie Empfehlungen zu Einsatzbereichen und -grenzen von Minikreisverkehren abgeleitet.

### Mini roundabouts – derivation of application areas and application limitations

In many cases, and both in terms of traffic safety and traffic flow, the system of mini roundabouts in intra-urban road networks has proven itself. Whereas in practice, a quite uneven arrangement or design of key elements such as circular islands, road dividers and pedestrian crossings, is considered as being problematic. Moreover, and because of advantages in terms of land use and costs especially on major roads and in local traffic, important application criteria such as recognizability and capacity constraints are considered less important.

The aim of the research project was therefore to collect in practice encountered diversities, and, on the basis of empirical studies, to win reliable conclusions on road safety and quality of traffic flow, depending on the position and function within the traffic network and on the respective configuration of the mini roundabouts.

The methodological approach and the resultant work program for the implementation include five incremental, partly parallel steps:

- overview and classification of existing mini roundabouts by means of a nationwide research using questionnaires,
- evaluation of traffic safety in approximately 100 mini roundabouts (analysis of accident characteristics, structure of accidents and of casualties) and calculation and comparison of accident characteristics,
- evaluation of the traffic quality and development of a calculation method based on 10 case studies,
- survey of noise pollution at mini roundabouts with different surfacing of the traffic island, and
- derivation of recommendations.

As a result, basic accident cost rates for mini roundabouts to be included in the HVS handbook were proposed. For the assessment of traffic flow, a method proposal for the HBS handbook was derived, based on the time gap theory. Also, the effects of different types of roundabouts on noise nuisance were calculated, and recommendations on application areas and application limitations of mini traffic roundabouts were derived

## Inhalt

<b>Abkürzungen</b> .....	7	3.5.2 Fußgänger- und Radverkehrsführung .....	26
<b>1 Einleitung</b> .....	11	3.5.3 Barrierefreiheit .....	27
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung .....	11	<b>4 Analyse der Verkehrssicherheit</b> ....	28
1.2 Untersuchungsablauf .....	12	4.1 Datengrundlage .....	28
<b>2 Erkenntnisstand</b> .....	12	4.2 Abgrenzung der Knotenpunktbereiche und Zuordnung der Unfälle .....	29
2.1 Einsatzkriterien .....	12	4.3 Analyse der Unfallcharakteristik, Unfall- und Verunglücktenstruktur .....	29
2.1.1 Lage und Funktion .....	12	4.3.1 Unfallschwere .....	30
2.1.2 Straßenkategorien .....	13	4.3.2 Verunglücktenstruktur .....	31
2.1.3 Verkehrsbelastung .....	13	4.3.3 Unfalltypenstruktur .....	32
2.2 Entwurfsэлеmente .....	14	4.3.4 Beteiligtenstruktur .....	32
2.2.1 Allgemeines .....	14	4.3.5 Altersstruktur .....	34
2.2.2 Außendurchmesser .....	14	4.3.6 Unfallart .....	35
2.2.3 Kreisfahrbahn .....	14	4.3.7 Unfallursachen .....	36
2.2.4 Kreisinsel .....	15	4.3.8 Straßenzustand und Lichtverhältnisse .....	36
2.2.5 Knotenpunktzu- und -ausfahrten ....	16	4.4 Bewertung der Verkehrssicherheit ....	37
2.2.6 Rechtsabbieger außerhalb der Kreisfahrbahn (Bypass) .....	17	4.4.1 Unfallzahlen .....	37
2.2.7 Fahrbahnteiler und Sperrflächen ....	17	4.4.2 Detailbetrachtung eines Minikreisverkehrs .....	40
2.2.8 Fußgängerverkehr .....	18	4.4.3 Kennwerte der Verkehrssicherheit ....	42
2.2.9 Radverkehr .....	18	4.4.4 Grundunfallkostenrate .....	45
2.2.10 Öffentlicher Personennahverkehr ....	19	<b>5 Bewertung der Verkehrsqualität</b> ....	47
2.3 Vorliegende Untersuchungen zur Verkehrssicherheit an Minikreis- verkehren .....	19	5.1 Beobachtungen des Verkehrs- ablaufs/Methodik .....	48
<b>3 Übersicht und Typisierung realisierter Minikreisverkehre</b> .....	20	5.1.1 Auswahl der Erhebungsstellen .....	48
3.1 Bundesweite Recherche .....	20	5.1.2 Durchführung der Messungen .....	48
3.2 Ausgewählte Merkmale der erfassten Minikreisverkehre .....	22	5.1.3 Auswertung .....	49
3.3 Vorschlag für eine Typisierung .....	24	5.1.4 Datenbasis .....	50
3.4 Auswahl der näher zu unter- suchenden Minikreisverkehre .....	25	5.2 Einfluss der ausfahrenden Fahrzeuge .....	50
3.5 Ausgewählte Vor-Ort-Analysen .....	25	5.2.1 Vorüberlegungen .....	50
3.5.1 Erkennbarkeit .....	26	5.2.2 Methodik .....	51

5.2.3	Ergebnisse	52	<b>6</b>	<b>Erhebung der Lärmbelastung</b>	97
5.3	Empirische Regression	53	6.1	Allgemeines	97
5.3.1	Theoretischer Hintergrund	53	6.2	Methodik	98
5.3.2	Kapazitäten für Zeitintervalle mit ständigem Rückstau	55	6.3	Ergebnisse	100
5.3.3	Kapazitätsabschätzung nach KYTE	57	6.4	Schlussfolgerungen	104
5.3.4	Regressionsrechnung	58	<b>7</b>	<b>Zusammenfassung/ Empfehlungen</b>	105
5.3.5	Lineare Mehrfachregression	62	7.1	Aufgabenstellung	105
5.3.6	Fazit	63	7.2	Verkehrssicherheit	105
5.4	Zeitlückentheorie	64	7.3	Verkehrsqualität	105
5.4.1	Theoretische Grundlagen	64	7.4	Lärmbelastung	107
5.4.2	Ermittlung der Grenz- und Folgezeitlücken	65	<b>8</b>	<b>Dokumentation</b>	107
5.4.3	Überprüfung der Verteilungsfunktion	69	8.1	Kurzfragebogen	107
5.4.4	Einfluss ausfahrender Fahrzeuge	72	8.2	Übersicht Minikreisverkehre der Verkehrssicherheitsuntersuchung	108
5.4.5	Fazit	73	8.3	Dokumentation zur Erkennbarkeit/ Fußgänger- und Radverkehrsführung/ Barrierefreiheit (an 20 ausgewählten Minikreisverkehren)	112
5.5	Konfliktmatrixverfahren	74	8.4	Unfalldiagramme zu den 10 unsichersten Minikreisverkehren	150
5.5.1	Theoretische Grundlagen	74	8.5	Kennwerte der Verkehrssicherheit	161
5.5.2	Kalibrierung am Untersuchungskollektiv	79	8.6	Messstellendokumentation	166
5.5.3	Ergebnisse	80	8.7	Ergebnisse der anlagenbezogenen Einzelregressionen für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau	171
5.6	Mikroskopische Verkehrsflosssimulation	82	8.8	Ergebnisse der Simulationsuntersuchung	173
5.6.1	Ziel und Arbeitsgrundlage	82	<b>9</b>	<b>Literatur</b>	174
5.6.2	Kalibrierung des Simulationsmodells	83			
5.6.3	Kapazität der Zufahrt ohne bevorrechtigte Fußgängerströme	85			
5.6.4	Kapazität der Zufahrt mit bevorrechtigten Fußgängerströmen	86			
5.6.5	Kapazität der Ausfahrt	91			
5.6.6	Fazit	92			
5.7	Vorschlag für ein Berechnungsverfahren	93			
5.7.1	Gegenüberstellung der untersuchten Berechnungsverfahren	93			
5.7.2	Verfahrensvorschlag	95			

## Abkürzungen

A	Ausfahrt eines Minikreisverkehrs (auch als Index)	dB(A)	bewerteter Schalldruckpegel in Dezibel mit A-Bewertung
$A_{i,j}$	Konfliktfaktor [-]	DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke, an Knotenpunkten die Summe der Verkehrsstärken aller Zufahrten [Kfz/d]
a	Regressionsparameter [-]	$DTV_{K,i}$	durchschnittliche tägliche Anzahl der Knotenpunktüberfahrten am Knotenpunkt i im Untersuchungszeitraum $t_{K,i}$ [Kfz/d]
$a_i$	größte abgelehnte Zeitlücke eines Fahrers i [s]	$\Delta x$	Fahrzeugfolgeabstand [m]
$\alpha$	Faktor zur Berücksichtigung des ausfahrenden Verkehrs [-]	$\Delta v$	Geschwindigkeitsdifferenz zweier aufeinanderfolgender Fahrzeuge [km/h]
$\alpha_3$	Faktor zur Berücksichtigung des ausfahrenden Verkehrs an dreiarmligen Minikreisverkehren [-]	E	Konfidenzintervall bzw. Differenz der Ergebnisse zweier Simulationsexperimente, die gerade noch als signifikant erkannt werden soll [s]
$\alpha_4$	Faktor zur Berücksichtigung des ausfahrenden Verkehrs an vierarmigen Minikreisverkehren [-]	ES	Erschließungsstraße
$B_A$	Breite der Kreisverkehrsausfahrt [m]	ES-Netz	Erschließungsstraßennetz
$B_a$	Belegzeitanteil einer Konfliktfläche durch Verkehrsteilnehmer, die sich einer Konfliktfläche nähern [-]	$F(\dots)$	Log-Normalverteilung der Grenzzeitlücke mit den Parametern $\mu$ und $\sigma$
$B_K$	Breite des Kreisrings bzw. der Kreisfahrbahn [m]	$f_f$	Abminderungsfaktor zu Berücksichtigung des Fußgängereinflusses [-]
$B_s$	Belegzeitanteil einer Konfliktfläche durch Verkehrsteilnehmer, die eine Konfliktfläche überfahren [-]	$f_{f,ANG}$	angepasster Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des Fußgängereinflusses [-]
$B_Z$	Breite der Kreisverkehrszufahrt [m]	$f_{PE}$	Faktor zur Berücksichtigung der Verkehrszusammensetzung eines Verkehrsstroms [-]
b	Abstand zwischen den Konfliktpunkten der Ausfahrt (C) und der Einfahrt (C') an einem Kreisverkehr [m]	Fg	Fußgänger (auch als Index)
b	Regressionsparameter [-]	FGÜ	Fußgängerüberweg
$b_i$	angenommene Hauptstromlücke eines Fahrers i [s]	F-LSA	Fußgängerlichtsignalanlage
Bet	Unfallbeteiligter	Fz	Fahrzeug (auch als Index)
C	Kapazität einer Zufahrt [Pkw-E/h]	G	Grundkapazität einer Zufahrt [Pkw-E/h]
$C_{ber}$	auf Basis der Regressionsgleichungen berechnete Kapazitäten [Pkw-E/h]	gUKR	Grundunfallkostenrate [€/1.000 Kfz]
$C_{erh}$	erhobene Kapazitäten (RST und KYTE) [Pkw-E/h]	$gUKR_K$	Grundunfallkostenrate eines Knotenpunkts [€/1.000 Kfz]
$C_{max}$	theoretische maximale Kapazität eines Verkehrsstroms (= $3.600/t_b$ ) [Fz/h]	HS	Hauptverkehrsstraße
c	Regressionsparameter [-]	HS-Netz	Hauptverkehrsstraßennetz
D	Außendurchmesser [m]	i	Verkehrsstrom i (auch als Index)
$D_1$	Durchmesser der überfahrbaren Kreisinsel [m]	K	Knotenpunkt
		k	Konfliktgruppe
		Kfz	Kraftfahrzeug (auch als Index)



K-ID	Knotenpunkt-ID	$n_C(t)$	Anzahl der in die Zeitlücke $t$ einfahrenden Nebenstromfahrzeuge [-]
KMV	Konfliktmatrixverfahren (auch als Index)	$n_K$	Anzahl der Knotenpunkte [-]
KMW <sub>50</sub>	mittlere Kapazität für die klassierte Verkehrsstärke im bevorrechtigten Hauptstrom mit Berücksichtigung der Ausfahrer (Klassenbreiten: 50 Fz/h) [Pkw-E/h]	$n_U$	Anzahl der Unfälle [U]
KMW <sub>120</sub>	mittlere Kapazität für die klassierte Verkehrsstärke im bevorrechtigten Hauptstrom ohne Berücksichtigung der Ausfahrer (Klassenbreiten: 120 Fz/h) [Pkw-E/h]	$n_{U(LP)}$	Anzahl der Unfälle mit leichtem Personenschaden [U(LP)]
Krad	Kraftrad (auch als Index)	$n_{U(SP)}$	Anzahl der Unfälle mit schwererem Personenschaden [U(SP)]
KS <sub>U(LP)</sub>	(pauschaler) Unfallkostensatz für Unfälle mit leichtem Personenschaden [€/U(LP)]	$n_{U(SS)}$	Anzahl der Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden i. e. S. [U(SS)]
KS <sub>U(SP)</sub>	(pauschaler) Unfallkostensatz für Unfälle mit schwerem Personenschaden [€/U(SP)]	OE	Ortseinfahrt
KS <sub>U(SS)</sub>	(pauschaler) Unfallkostensatz für Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden i. e. S. [€/U(SS)]	ÖPV	öffentlicher Personenverkehr
L	natürlicher Logarithmus von $L^*$	$p_0$	Wahrscheinlichkeit, dass die Konflikfläche nicht durch Verkehrsteilnehmer eines bevorrechtigten Stroms blockiert wird, die sich der Konflikfläche nähern oder diese befahren [-]
$L^*$	Likelihood-Funktion	$p_{0,a}$	Wahrscheinlichkeit, dass die Konflikfläche nicht durch sich annähernde Verkehrsteilnehmer eines bevorrechtigten Stroms blockiert wird [-]
$L_{AF}$	mittlerer momentaner Schallpegel [dB(A)]	$p_{0,s}$	Wahrscheinlichkeit, dass die Konflikfläche nicht durch Verkehrsteilnehmer eines bevorrechtigten Stroms blockiert wird [-]
$L_{eq}$	äquivalenter Dauerschallpegel [dB(A)]	Pkw	Personenkraftwagen (auch als Index)
$L_{max}$	maximaler momentaner Schallpegel [dB(A)]	Pkw-E	Pkw-Einheiten [-]
Lkw	Lastkraftwagen (auch als Index)	$Q_e$	Verkehrsstärke in der Kreisverkehrseinfahrt [Kfz/h]
LkwB	Lastkraftwagen und Busse (auch als Index)	$Q_k$	Verkehrsstärke in der Kreisfahrbahn [Kfz/h]
LSA	Lichtsignalanlage	$q$	Verkehrsstärke eines Verkehrsstroms [Fz/h]
$L(t)$	im Zeitintervall $t$ erhobener Schallpegel [dB(A)]	$q_A$	Verkehrsstärke des am betrachteten Knotenarm ausfahrenden Verkehrs [Fz/h]
Lz	Lastzug (auch als Index)	$q_{FG}$	Verkehrsstärke eines Fußgängerstroms, der eine Zufahrt quert [Fg/h]
$m$	Erwartungswert der Log-Normalverteilung der Grenzzeitlücken [s]	$q_k$	Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt [Fz/h]
$\mu$	Parameter der Log-Normalverteilung der Grenzzeitlücken	$q_p$	Verkehrsstärke des bevorrechtigten Stroms [Fz/h]
MFR	Mehrfachregression (auch als Index)	QSV	Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs [-]
MIV	motorisierter Individualverkehr	$R^2$	Bestimmtheitsmaß [-]
$N_{Fall (2a)}$	Anzahl der im Untersuchungszeitraum für eine Zufahrt beobachteten ausfahrenden Fahrzeuge des Falls (2a) [-]	$R_A$	Ausrundungsradius der Kreisverkehrsausfahrt [m]
$N_{Fall (2b)}$	Anzahl der im Untersuchungszeitraum für eine Zufahrt beobachteten ausfahrenden Fahrzeuge des Falls (2b) [-]		

$R_Z$	Ausrundungsradius der Kreisverkehrszufahrt [m]	$t_s$	Zeitbedarfswert für einen Verkehrsteilnehmer, der eine Konfliktfläche überfährt [s]
Rad	Fahrrad (auch als Index)	$t_w$	mittlere Wartezeit [s]
REG	Regressionsverfahren (auch als Index)	$t_x$	Zeitdauer zum Durchfahren eines definierten Bereiches [s]
RMSE	absolute Fehler in Form der Wurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung (Root Mean Square Error) [-]	$t(\alpha, n-1)$	Wert der Student-Verteilung für die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers
RMSPE	relativer Fehler in Form der Wurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung (Root Mean Square Percent Error) [-]	U	Unfall
RST	Zeitintervalle mit ständigem Rückstau (auch als Index)	U(LP)	Unfall mit leichtem Personenschaden (Unfallkategorie 3), bei dem mindestens ein Verkehrsteilnehmer leicht verletzt, aber kein Verkehrsteilnehmer getötet oder schwer verletzt wurde
s	Standardabweichung	U(P)	Unfall mit Personenschaden (Unfallkategorien 1-3), bei dem unabhängig von der Höhe des Sachschadens mindestens eine Person verletzt wurde
$\sigma$	Parameter der Log-Normalverteilung der Grenzzeitlücken	U(SP)	Unfall mit schwerem Personenschaden (Unfallkategorien 1+2), bei dem mindestens ein Verkehrsteilnehmer getötet oder schwer verletzt wurde
SIM	Simulation (auch als Index)	U(SS)	Unfall mit schwerwiegendem Sachschaden i. e. S. (Unfallkategorie 4), bei dem als Unfallursache eine Ordnungswidrigkeit (Bußgeld) oder Straftat im Zusammenhang mit der Teilnahme am Straßenverkehr vorliegt, und bei dem gleichzeitig ein Kraftfahrzeug aufgrund eines Unfallschadens von der Unfallstelle abgeschleppt werden muss (Kfz nicht fahrbereit)
SR 4	Seitenradarmessgerät	$UK_{K,i}$	Unfallkosten am Knotenpunkt i im Untersuchungszeitraum $t_{K,i}$ [€]
T	Messdauer einer Schallpegelmessung	$UK_{K,i,a}$	jährliche Unfallkosten am Knotenpunkt i [€/a]
$t_0$	Nullzeitlücke (= $t_g - t_f/2$ ) [s]	$UK_{K,i,U(P)}$	Unfallkosten für Unfälle mit Personenschaden am Knotenpunkt i im Untersuchungszeitraum $t_{K,i}$ [€]
$t_a$	Zeitbedarfswert für einen Verkehrsteilnehmer des bevorrechtigten Stroms, der sich dem Knotenpunkt annähert [s]	$UK_{K,i,U(SS)}$	Unfallkosten für Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden i. e. S. am Knotenpunkt i im Untersuchungszeitraum $t_{K,i}$ [€]
$t_b$	Zeitbedarfswert zum Befahren des Knotenpunktes eines Verkehrsteilnehmers [s]	UKD	Unfallkostendichte [1.000 €/a]
$t_f$	Folgezeitlücke (mittlere Bruttozeitlücke zwischen zwei aufeinander folgenden Fahrzeugen im vorfahrtsrechtlich untergeordneten Verkehrsstrom, die dieselbe Zeitlücke des übergeordneten Verkehrsstroms nutzen) [s]	$UKD_K$	Unfallkostendichte eines Knotenpunkts [1.000 €/a]
$t_g$	Grenzzeitlücke (mittlere kleinste Bruttozeitlücke in einem vorfahrtsrechtlich übergeordneten Verkehrsstrom, die von einem Fahrzeug im untergeordneten Verkehrsstrom zur Ausführung eines Fahrmanövers genutzt wird) [s]		
$t_{K,i}$	Untersuchungszeitraum, d. h. Anzahl der betrachteten Jahre am Knotenpunkt i [a]		
$t_m$	Aufrückzeit, die ein Nebenstromfahrzeug benötigt, um von der 2. in die 1. Warteposition aufzurücken [s]		
$t_{min}$	Mindestzeitlücke zwischen den Fahrzeugen im Kreis [s]		
$t_s$	Zeit, die ein Nebenstromfahrzeug in 1. Warteposition verbringt (Kyte-Verfahren) [s]		

---

$UKD_{K,i}$	Unfallkostendichte des Knotenpunkts i [1.000 €/a]
$UKD_{K,i,a}$	(jährliche) Unfallkostendichte des Knotenpunkts i [1.000 €/a]
$UKD_{K,M}$	mittlere Unfallkostendichte aller Knotenpunkte [1.000 €/a]
UKR	Unfallkostenrate [€/(1.000 Kfz)]
$UKR_K$	Unfallkostenrate eines Knotenpunkts [€/(1.000 Kfz)]
$UKR_{K,i}$	Unfallkostenrate des Knotenpunkts i [€/(1.000 Kfz)]
$UKR_{K,i,a}$	(jährliche) Unfallkostenrate des Knotenpunkts i [€/(1.000 Kfz)]
$UKR_{K,M}$	mittlere Unfallkostenrate aller Knotenpunkte [€/(1.000 Kfz)]
V	Geschwindigkeit [km/h]
$V_{50}$	Geschwindigkeit, welche von 50 % der Fahrzeuge nicht überschritten wird [km/h]
$V_{GT}$	Getöteter (Person, die innerhalb von 30 Tagen an den Unfallfolgen gestorben ist)
$V_{LV}$	Leichtverletzter (Person, die verletzt, aber nicht unmittelbar für mindestens 24 Stun- den zur stationären Behandlung in einem Krankenhaus aufgenommen wurde)
$V_{SV}$	Schwerverletzter (Person, die unmittelbar zur stationären Behandlung, für mindes- tens 24 Stunden, in einem Krankenhaus aufgenommen wurde)
VU-Kat.	Verkehrsunfallkategorie
VU-Typ	Verkehrsunfalltyp
WT	Wochentag
$x_i$	Logarithmus der vom i-ten Fahrer abge- lehnten Zeitlücke $a_i$
$x^{obs}$	erhobene mittlere Reisezeiten [s]
$x^{sim}$	simulierte mittlere Reisezeiten [s]
$\bar{x}^{sim}$	Mittelwert der simulierten mittleren Reise- zeiten über mehrere Simulationsläufe [s]
$y_i$	Logarithmus der vom i-ten Fahrer ange- nommenen Zeitlücke $b_i$
Z	Zufahrt eines Minikreisverkehrs (auch als Index)
ZLV	Zeitlückenverfahren (auch als Index)

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Im innerörtlichen Straßennetz hat sich laut BRILON/BÄUMER/FLOTTMANN (2002) die Anlage von Minikreisverkehren sowohl hinsichtlich der Verkehrssicherheit als auch der Qualität des Verkehrsablaufs in vielen Fällen bewährt. Minikreisverkehre fanden dementsprechend Eingang in die aktuellen Regelwerke, das Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006a) und die RAST (FGSV, 2006b). Nach den RAST (FGSV, 2006b) sind Minikreisverkehre als Knotenpunktart im Erschließungsstraßennetz „geeignet“ und für Knotenpunkte zwischen Hauptverkehrs- und Erschließungsstraßen sowie zwischen zweistreifigen Hauptverkehrsstraßen mit gegebenenfalls ergänzenden Maßnahmen „bedingt geeignet“.

Ein für Minikreisverkehre anwendbares Verfahren zur Beurteilung der Verkehrsqualität existiert bisher nicht. In FGSV (2006a) wird die (ohne gesonderten Nachweis zu unterstellende) Kapazität von Minikreisverkehren mit 12.000 Kfz/24 h angegeben.

Bei Beachtung der genannten Vorgaben zur Lage und Funktion im Netz sowie bezüglich der Ausführung und Ausstattung sind Minikreisverkehre eine sinnvoll einzusetzende Knotenpunktart. In der Praxis zeichnet sich jedoch ab, dass wegen der Vorteile hinsichtlich Flächenverbrauchs und Kosten insbesondere auf Hauptverkehrsstraßen und in Ortsdurchfahrten wichtige Einsatzkriterien wie Erkennbarkeit und Einhaltung der Kapazitätsgrenzen weniger beachtet werden. Des Weiteren ist eine recht uneinheitliche Anordnung bzw. Ausbildung von wichtigen Elementen wie Kreisinseln, Fahrbahnteilern und Fußgängerüberwegen anzutreffen. Zu den negativen Auswirkungen mangelhaft gestalteter Minikreisverkehre zählt u. a., dass Pkw-Fahrer die Vorfahrtregelung nicht beachten und/oder mit un- verminderter Geschwindigkeit geradeaus über die Kreisinsel fahren. Letzteres kann auch zu Beschwerden seitens der Anwohner über eine erhöhte Lärmbelästigung führen.

Hinzu kommt, dass Minikreisverkehre mittlerweile nicht nur innerhalb bebauter Gebiete eingesetzt werden. Die wenigen Versuche im Außerortsbereich bieten jedoch keinen Anlass, den Einsatz von Minikreisverkehren außerhalb bebauter Gebiete zu forcieren.

Demnach können sich die Untersuchungen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens auf Minikreis-

verkehre in drei verschiedenen Lagen und Funktionen im Straßennetz konzentrieren:

- Knotenpunkte im Erschließungsstraßennetz,
- Knotenpunkte von Hauptverkehrsstraßen untereinander bzw. mit Erschließungsstraßen,
- Knotenpunkte im Ortseinfahrtbereich von Ortsdurchfahrten.

Letztere sind zwar nach den RAST (FGSV, 2006b) explizit ausgeschlossen, in der Praxis aber realisiert und daher mit zu untersuchen.

Bei allen drei Lage- und Funktionstypen ergeben sich verschiedene Untersuchungsschwerpunkte:

- Während bei Minikreisverkehren in Ortseinfahrtbereichen die Aspekte der Verkehrssicherheit (z. B. in Bezug zu Geschwindigkeit, Übergang des Radverkehrs außerorts/innerorts) im Mittelpunkt stehen, ist dies bei den Minikreisverkehren im Zuge von Hauptverkehrsstraßen bzw. Ortsdurchfahrten neben der Sicherheit (hier auch bezüglich des Fußgängerquerverkehrs) zusätzlich die erzielbare Qualität des Verkehrsablaufs vor allem im Bereich hoher Verkehrsstärken.
- Minikreisverkehre in Erschließungsstraßen sind besonders unter den Aspekten der Begreifbarkeit und der einheitlichen Gestaltung im Sinne „selbsterklärender Straßen“ zu betrachten.
- Bei den unterschiedlichen Anwendungsfällen sind auch sehr verschiedene bauliche Ausführungen sowohl der Kreisinsel als auch der Fahrbahnteiler in den Zufahrten (soweit überhaupt vorhanden) anzutreffen, deren Festlegung nach Flächen- und Kostengründen erfolgt. Über die Vor- und Nachteile bezüglich Befolgung der Verkehrsregeln und sachgerechten Verhaltens durch die Verkehrsteilnehmer ist bisher wenig bekannt.

Ziel des Forschungsvorhabens war es daher auch, die in der Praxis anzutreffende Vielfalt zu erfassen und auf Grundlage empirischer Untersuchungen belastbare Aussagen zur Verkehrssicherheit und zur Qualität des Verkehrsablaufs in Abhängigkeit von Lage und Funktion im Netz und der jeweiligen Ausgestaltung der Minikreisverkehre zu gewinnen. Im Ergebnis sollten Einsatzbereiche und vor allem -grenzen von Minikreisverkehren sowie begründete Gestaltungsanforderungen an derartige Anlagen festgelegt werden.

## 1.2 Untersuchungsablauf

Die methodische Vorgehensweise und das sich hieraus ergebende Arbeitsprogramm sahen fünf aufeinander aufbauende, teilweise parallele Arbeitsschritte vor: Übersicht und Typisierung realisierter Minikreisverkehre, Bewertung der Verkehrssicherheit, Bewertung der Verkehrsqualität, Erhebung der Lärmbelastung sowie Ableitung von Empfehlungen.

In Bild 1 sind die Inhalte der einzelnen Arbeitsschritte sowie deren Verknüpfung dargestellt.

## 2 Erkenntnisstand

### 2.1 Einsatzkriterien

#### 2.1.1 Lage und Funktion

Nach FGSV (2006a) sind Minikreisverkehre nur innerhalb bebauter Gebiete anzuordnen, wenn die Einsatzgrenzen kleiner Kreisverkehre erfüllt sind und die folgenden Voraussetzungen gegeben sind:

- Der Knotenpunkt liegt in einem Bereich mit einer Begrenzung der zulässigen Geschwindigkeit auf 50 km/h oder weniger auf allen zuführenden Straßen.

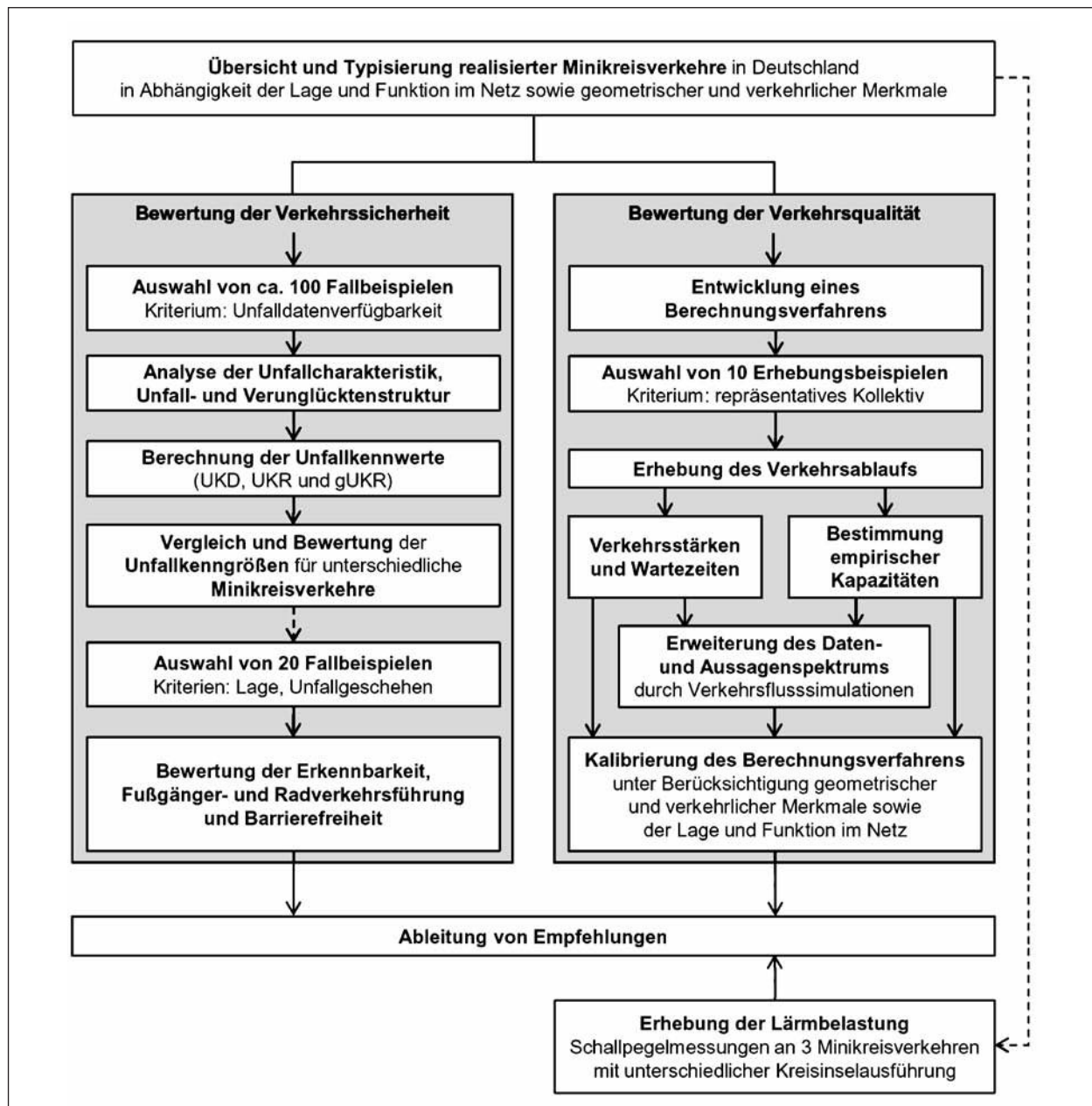


Bild 1: Untersuchungsablauf

- Die Anlage eines kleinen Kreisverkehrs ist wegen der Enge des Straßenraumes oder wegen der nur beschränkt verfügbaren Fläche nicht möglich.

Nach den RASSt (FGSV, 2006b) sind Minikreisverkehre nicht einzusetzen bei

- Knotenpunktarmen mit zuführenden Einbahnstraßen,
- unvertretbaren Komforteinbußen für Fahrgäste von Linienbussen,
- schienengebundenem öffentlicher Verkehr und
- starkem Schwerverkehr wegen der Lärmentwicklung beim Überfahren der Kreisinsel.

Minikreisverkehre sollen in der Regel nicht angelegt werden, wenn diese bei der Annäherung für den Kraftfahrer nicht rechtzeitig als solche erkennbar sind (z. B. bei Lage auf einer Kuppe). In jedem Fall muss der Eindruck einer ununterbrochenen, durchlaufenden Straße vermieden werden.

In Tempo-30-Zonen kann durch einen Minikreisverkehr ein Beitrag zur Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit geleistet werden. Dagegen sind in Ortseinfahrtsbereichen Minikreisverkehre in der Regel keine geeignete Maßnahme zur Reduzierung überhöhter Geschwindigkeiten.

Die Regelungsart der benachbarten Knotenpunkte ist bei der Anordnung von Minikreisverkehren zu berücksichtigen. So sollten nach Untersuchungen von Minikreisverkehren in der Schweiz (BÜHLMANN et al., 2007), Minikreisverkehre nicht in unmittelbarer Nachbarschaft lichtsignalgesteuerter Knotenpunkte angeordnet werden.

### 2.1.2 Straßenkategorien

Im Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006a) sind neben der Einsatzgrenze „innerörtliche Straßen mit einer Begrenzung der zulässigen Geschwindigkeit auf höchstens 50 km/h“ keine Einschränkungen bzgl. des Einsatzes von Minikreisverkehren in Abhängigkeit der Straßenkategorien gemäß RIN (FGSV, 2008; VS, HS bzw. ES) vorgegeben.

Nach RASSt (FGSV, 2006b) sind Minikreisverkehre eine geeignete Knotenpunktart bei Verknüpfung

- gleichrangiger Erschließungsstraßen und

- Erschließungsstraßen unterschiedlichen Rangs.

Bedingt geeignet gemäß RASSt sind Minikreisverkehre bei Verknüpfung von

- Erschließungsstraße und Hauptverkehrsstraße mit 2 durchgehenden Fahrstreifen,
- Hauptverkehrsstraßen mit 2 durchgehenden Fahrstreifen untereinander.

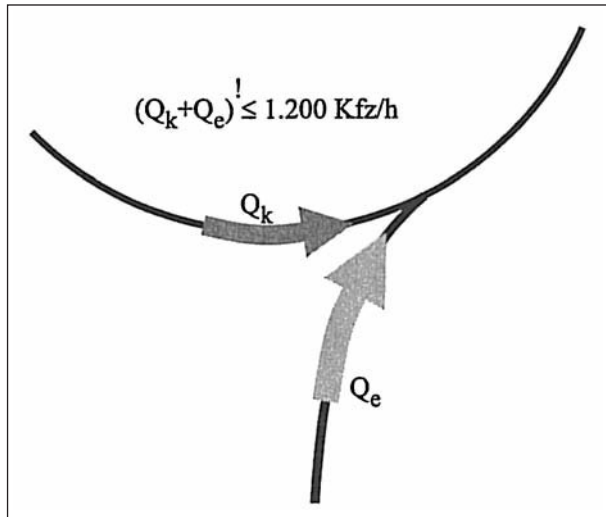
Nicht geeignet sind Minikreisverkehre zur Verknüpfung von Hauptverkehrsstraßen mit mehr als 2 durchgehenden Fahrstreifen untereinander oder mit anderen Straßen oder in Ortseinfahrtsbereichen.

Nach Untersuchungsergebnissen von BÜHLMANN et al. (2007) sind bei Minikreisverkehren zur Verknüpfung von Straßen mit stark abweichender Verkehrsbedeutung die Regelungsarten an den benachbarten Knotenpunkten für die Verkehrssicherheit von hoher Relevanz. So wird der Fahrzeugführer auf einer Straße mit hoher Verkehrsbedeutung und mehreren Kreisverkehren eher für die Vorfahrtregelung sensibilisiert als auf einer Hauptverkehrsstraße mit einem einzelnen Kreisverkehr. Diese Problematik verdeutlichte bei der Schweizer Untersuchung das Unfallgeschehen von „isolierten“ dreiarmligen Minikreisverkehren an Hauptverkehrsstraßen, welche durch überdurchschnittlich viele Vorfahrtunfälle negativ auffielen.

### 2.1.3 Verkehrsbelastung

Gemäß dem Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006a) können Verkehrsstärken unter 12.000 Kfz/24 h (Summe des zuführenden Verkehrs) im Allgemeinen ohne größere Probleme abgewickelt werden. Bei besonders günstigen Verhältnissen können Verkehrsstärken bis etwa 18.000 Kfz/24 h abgewickelt werden. Solche günstigen Verhältnisse sind gegeben, wenn sich das Verkehrsaufkommen weitgehend gleichmäßig auf alle Kreiszufahrten verteilt, wenn der Anteil der nach links abbiegenden Fahrzeuge in allen Kreiszufahrten gering ist und der Außendurchmesser möglichst groß gewählt wird. Teilweise werden auch höhere Kapazitäten von bis zu 20.000 Kfz/24 h genannt (MWMTV, 1999), welche bei günstigen Verhältnissen an Minikreisverkehren bei akzeptablen Wartezeiten abgewickelt werden können.

Da bisher keine für Minikreisverkehre anwendbaren Verfahren zur Ermittlung der Kapazität bzw. der Verkehrsqualität existieren, wird im Merkblatt



**Bild 2:** Überschlägige Bemessung eines Minikreisverkehrs (FGSV, 2006a)

(FGSV, 2006a) als überschlägige Bemessung angeführt, dass der an der Knotenpunktzufahrt ein- fahrende Strom und der auf der Kreisfahrbahn bevorrechtigte Strom in der Summe 1.200 Kfz/h nicht überschreiten sollten (Bild 2).

In MWMTV (1999) wird empfohlen, Minikreisver- kehre nur einzusetzen, wenn die Verkehrsstärke im Querschnitt der schwächer belasteten Knoten- punktarme bei Einmündungen mindestens 15 % beziehungsweise bei Kreuzungen wenigstens 20 % (Summe des zu- und wegführenden Verkehrs bei- der Knotenpunktarme des schwächer belasteten Straßenzugs) der Gesamtbelastung des Knoten- punktes beträgt. BÜHLMANN et al. (2007) empfeh- len für Minikreisverkehre in der Schweiz 25 % für Einmündungen und 30 % für Kreuzungen.

## 2.2 Entwurfselemente

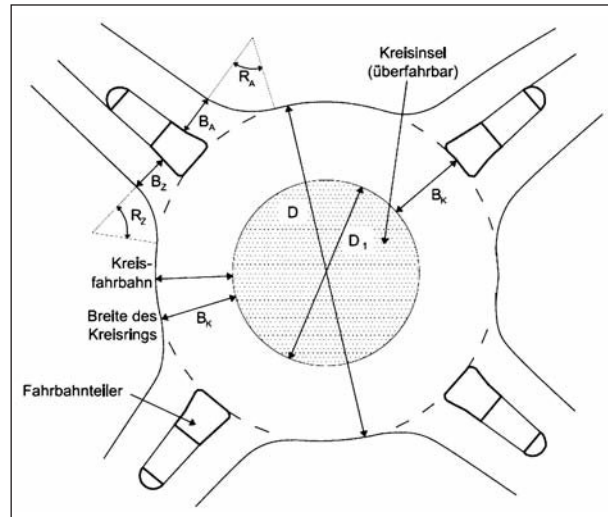
### 2.2.1 Allgemeines

In Bild 3 sind die Entwurfselemente eines Mini- kreisverkehrs sowie die Bezeichnungen, welche im vorliegenden Bericht entsprechend den deutschen Regelwerken verwendet werden, dargestellt.

Im Folgenden werden Entwurfsempfehlungen für die dargestellten Elemente unter Berücksichtigung von nationalen und internationalen Forschungser- gebnissen zu Minikreisverkehren erläutert.

### 2.2.2 Außendurchmesser

Nach FGSV (2006a) soll der Außendurchmesser eines Minikreisverkehrs zwischen 13 m und 22 m



**Bild 3:** Definition der Entwurfselemente und Maße eines Mini- kreisverkehrs

betragen. Das Mindestmaß für den Außendurch- messer von 13 m ist vorzusehen, da sonst die Kreis- insel so klein wird, dass die Ablenkung und somit die Geschwindigkeitsdämpfung der Kraftfahrzeuge zu gering werden oder die Kreisinsel regelmäßig auch von Pkw überfahren werden muss und somit eine verkehrssichere Gestaltung nicht mehr möglich ist. Nach der Untersuchung von Minikreisverkehren in der Schweiz von BÜHLMANN et al. (2007) sollte der Außendurchmesser mindestens 16 m betragen und bei Außendurchmessern über 18 m wird sogar die Anlage einer baulichen Kreisinsel mit überfahr- barem Innenring empfohlen. Außendurchmesser zwischen 22 m und 26 m sollen nach dem deut- schen Regelwerk vermieden werden.

### 2.2.3 Kreisfahrbahn

Gemäß RAS (FGSV, 2006b) ist die Kreisfahrbahn aus Gründen der Verkehrssicherheit möglichst kreisrund anzulegen und möglichst schmal auszu- führen. In FGSV (2006a) wird eine Breite des Kreis- rings von 4 bis 6 m angegeben, wobei kleinere Au- ßendurchmesser die größere Breite des Kreisrings erfordern. Nach BRILON/BONDZIO (1999), MWMTV (1999) und HLSV (2004) sollte die Breite der Kreisfahrbahn insbesondere bei kleinen Außen- durchmessern nach den Schleppkurven für Pkw dimensioniert werden. Bei der Überprüfung der Befahrbarkeit durch die Schleppkurven sollen zu- sätzlich seitliche Bewegungsspielräume von etwa 50 cm (mindestens 25 cm) eingehalten werden.

Die möglichst schmale Ausführung der Kreisfah- rbahn zielt auf eine ausreichende Ablenkung der ge-

radeaus fahrenden Fahrzeuge und eine frühzeitige Erkennbarkeit des Knotenpunktes ab. Gleichzeitig verhindert sie, dass Fahrradfahrer im Kreis überholt werden – vgl. FGSV (2006a), BÜHLMANN et al. (2007).

Von Sicherheitsrelevanz ist auch eine ausreichende Entwässerung der Fahrbahn. In FGSV (2006a) wird eine Querneigung der Kreisfahrbahn nach außen von 2,5 % empfohlen. Bei ausreichender Längsneigung kann auf die Querneigung verzichtet werden. Eine maximale Längs- oder Schrägneigung von 6 % sollte an keiner Stelle überschritten werden.

#### 2.2.4 Kreisinsel

Die Kreisinsel dient neben der Ablenkung der Fahrzeuge als maßgebendes Element für die Erkennbarkeit eines Kreisverkehrs. Die Gestaltung hat so zu erfolgen, dass die Fahrzeugführer die Insel als „Hindernis“ erkennen, geradeaus fahrende Fahrzeuge ausreichend abgelenkt werden und der Schwerverkehr die Insel ohne größere Probleme überfahren kann. Die Kreisinsel sollte kreisrund sein und einen Mindestdurchmesser von 4 m besitzen, da sonst keine ausreichende Ablenkung der Kraftfahrzeuge gewährleistet werden kann. Die Kreisinsel von Minikreisverkehren ist immer überfahrbar zu gestalten, um eine vollständige Befahrbarkeit für alle zum allgemeinen Straßenverkehr zugelassenen Fahrzeuge – zumindest in langsamer Fahrt – zu gewährleisten. In Großbritannien, der Schweiz und Österreich werden die Kreisinseln zum Teil nicht überfahrbar ausgebildet, wobei davon ausgegangen wird, dass der Minikreisverkehr dann nicht mehr von jedem Verkehrsteilnehmer ordnungsgemäß befahren werden kann (SAWERS, 1996, BÜHLMANN et al., 2007). Die Bordsteineinfassung der Kreisinsel sollte einen Niveauunterschied von 4 bis 5 cm gegenüber der Kreisfahrbahn aufweisen. Der Bordstein sollte abgerundet sein und kann zur besseren Erkennbarkeit weiß eingefärbt werden. Ist keine Bordeinfassung der Kreisinsel vorhanden, ist der linke Fahrbahnrand der Kreisfahrbahn mit einem Breitstrich zu markieren, um die Kreisinsel von der Kreisfahrbahn abzugrenzen und ausschließlich der Befahrung durch den Schwerverkehr vorzubehalten (§ 9a (2) StVO).

Den negativen Einfluss zu kleiner Kreisinseln auf die Verkehrssicherheit belegen Untersuchungen in

Großbritannien (SAWERS, 1996). Dort unfallauffällige Minikreisverkehre wiesen häufig Kreisinseln mit Durchmessern kleiner 4 m auf.

Unfallauswertungen in Großbritannien (MAYCOCK/HALL, 1984) und Deutschland (BRILON/BÄUMER/FLOTTMANN, 2002) zu den Hauptunfalltypen an Minikreisverkehren zeigten, dass es sich zum überwiegenden Teil um Vorfahrtunfälle (Einbiegen/Kreuzen-Unfälle) handelt. Gründe dafür liegen häufig in der mangelhaften Erkennbarkeit des Minikreisverkehrs, aufgrund ungünstig gestalteter Kreisinseln (z. B. ausschließliche Markierung) oder unzureichender Ablenkung der Fahrzeuge. Grundsätzlich gilt: Eine ausreichende Sicherheit kann nur gewährleistet werden, wenn die Kreisinseln vom Verkehrsteilnehmer als „Hindernis“ erkannt werden.

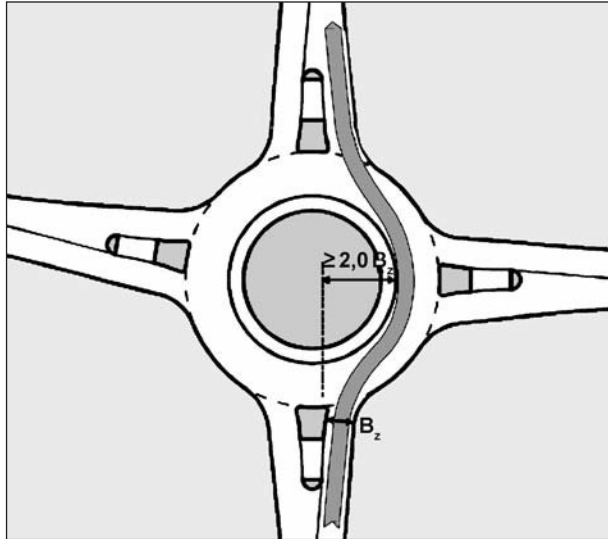
Die Wichtigkeit, die Kreisinsel durch einen abgesetzten Bord zu begrenzen, wird in nahezu allen Untersuchungen von Minikreisverkehren betont – vgl. BRILON/BONDZIO (1999), MWMTV (1999), HLSV (2004). So beschreiben BRILON/BÄUMER/FLOTTMANN (2002), dass eine ausschließliche Markierung (mittels Farbe bzw. Nagelreihe) der Kreisinsel sich als unzureichend aus Sicht der Verkehrssicherheit erwiesen hat, insbesondere in Kombination mit großen Außendurchmessern.

#### Ablenkung der Fahrzeuge

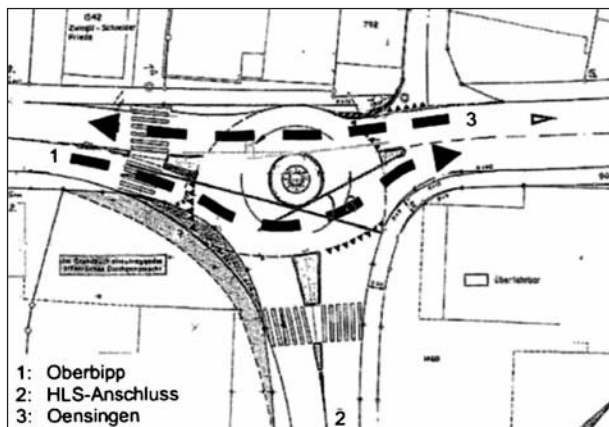
Die Sicherheitsvorteile (geringere Unfallschwere) von (Mini-)Kreisverkehren gegenüber anderen plangleichen Knotenpunktformen werden u. a. durch das niedrigere Geschwindigkeitsniveau begründet (FGSV, 2006a). Eine ausreichende Ablenkung der geradeaus fahrenden Kraftfahrzeuge bildet dabei die Grundlage zur Reduktion der Geschwindigkeit des Kraftverkehrs. In FGSV (2006a) wird eine Ablenkung, die mindestens der doppelten Zufahrtsbreite entspricht, empfohlen – siehe Bild 4.

Die Bedeutung der Fahrzeugablenkung belegt u. a. die Untersuchung des Geschwindigkeitsverhaltens an Minikreisverkehren in der Schweiz von BÜHLMANN et al. (2007). Deren Geschwindigkeitsmessungen zeigten, dass unzureichende Ablenkung der geradeaus fahrenden Fahrzeuge insbesondere in den Schwachlastzeiten zu hohen Geschwindigkeiten im Bereich der Kreisfahrbahn führt. Beispielhaft sind die Untersuchungsergebnisse am Minikreisverkehr in Niederbipp dargestellt – siehe Bild 5 und Bild 6. An diesem Minikreisverkehr wur-





**Bild 4:** Ablenkung geradeaus fahrender Kraftfahrzeuge durch die Kreisinsel und gegebenenfalls durch den Innenring (FGSV, 2006a)

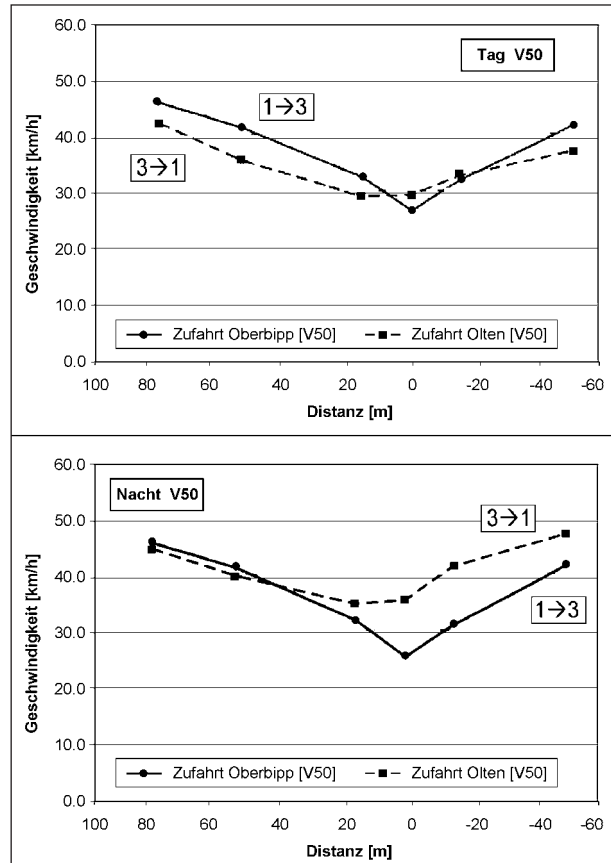


**Bild 5:** Minikreisverkehr in Niederbipp (BÜHLMANN et al., 2007)

den Geschwindigkeiten frei fahrender Fahrzeuge bei Tag und bei Dunkelheit erfasst.

Der betrachtete Minikreisverkehr verfügt über eine gepflasterte Kreisinsel mit angehobener Bordeinfassung. Für geradeaus fahrende Fahrzeuge aus Zufahrt Oberbipp (1) beträgt der Ablenkungswinkel 40 gon und für die Zufahrt Oensingen (3) 10 gon.

Die in Bild 6 dargestellten Verläufe der mittleren Geschwindigkeit am Minikreisverkehr in Niederbipp zeigen, dass in den Nachtstunden die Geschwindigkeiten bei Befahrung der Richtung mit geringer Ablenkung im Bereich der Kreisfahrbahn etwa 10 km/h höher liegen als in der Gegenrichtung mit ausreichender Ablenkung. Tagsüber sind beim Geschwindigkeitsniveau und Geschwindigkeitsverlauf für beide Fahrtrichtungen kaum Unterschiede zu erkennen.



**Bild 6:** Vergleich Geschwindigkeitsverlauf (mittlere Geschwindigkeit) am Tag und in der Nacht mit (1 → 3) und ohne (3 → 1) Ablenkung (BÜHLMANN et al., 2007)

## 2.2.5 Knotenpunktu- und -ausfahrten

Gemäß FGSV (2006a) sollen die Zufahrten möglichst senkrecht an die Kreisfahrbahn herangeführt werden, das heißt, die Straßenachsen sollen radial auf den Kreismittelpunkt gerichtet sein. In der Schweiz wurden bei der Untersuchung von Minikreisverkehren mögliche Grundformen aufgezeigt (BÜHLMANN et al., 2007), welche in Bild 7 dargestellt sind. Weichen Minikreisverkehre von den aufgezeigten Grundformen ab, so sind nach BÜHLMANN et al. (2007) oftmals die Erkennbarkeit und vor allem die Begreifbarkeit der Verkehrsanlagen nicht mehr gegeben. Ungünstige Situationen für Minikreisverkehre zeigt Bild 8. In diesen Situationen nimmt unsicheres Verhalten bzw. Fehlverhalten der Fahrzeugführer i. d. R. zu.

Die Breite des bestehenden Straßenquerschnitts sollte in den Zufahrten beibehalten werden. Die Kreiszufahrt sollte nach FGSV (2006a, b) eine Breite von 3,25 m bis 3,75 m und die Kreisausfahrt von 3,5 m bis 4 m aufweisen. Für die Eckausrundung wird ein Radius von 8 m bis 10 m empfohlen, wobei die Radien auch von den Maßen abweichen kön-


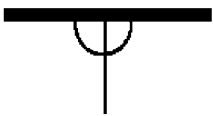
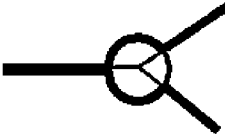
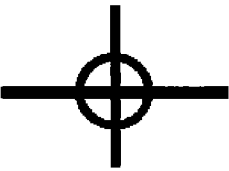
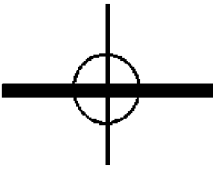
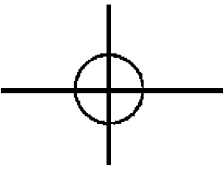
	T-Knoten		Y-Knoten
<b>dreiarig</b>			
<b>Schema</b>			
<b>vierarmig</b>		<b>Knoten mit unterschiedlichen Verkehrsbelastungen</b>	
<b>Schema</b>			

Bild 7: Mögliche Grundtypen für Minikreisel (BÜHLMANN et al., 2007)

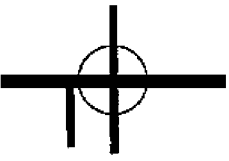

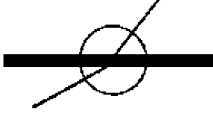
	Situationen		
<b>Schema</b>			

Bild 8: Für Minikreisel ungünstige Situationen (BÜHLMANN et al., 2007)

nen, da sie auch von der Anzahl der Knotenpunkte, vom Außendurchmesser und vom Schwerverkehr abhängig sind.

### 2.2.6 Rechtsabbieger außerhalb der Kreisfahrbahn (Bypass)

Bypässe und Minikreisverkehre sind i. d. R. aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse nicht miteinander vereinbar. In bisherigen Forschungsarbeiten wurden im Zusammenhang mit Minikreisverkehren Bypässe nicht thematisiert, sodass bisher keine Empfehlungen oder Erkenntnisse mit Sicherheitsrelevanz beschrieben werden können.

### 2.2.7 Fahrbahnteiler und Sperrflächen

Gemäß FGSV (2006a) sind Fahrbahnteiler wesentliche Elemente eines Kreisverkehrs, da sie

- die Erkennbarkeit des Knotenpunktes verbessern,
- die Wartepflicht verdeutlichen,
- das Schneiden der Kreiszufahrt und -ausfahrt verhindern,

- als Überquerungshilfen für Fußgänger und Radfahrer fungieren sowie
- Standorte für Verkehrszeichen sind.

Die allgemein für Kreisverkehre angeführten Funktionen des Fahrbahnteilers gelten im selben Umfang auch für Minikreisverkehre. Allerdings ist aufgrund der beengten Verhältnisse bei Minikreisverkehren die Anlage von Fahrbahnteilern nicht immer möglich. Sprechen Gründe der Befahrbarkeit durch den Schwerverkehr gegen bauliche Fahrbahnteiler, so können die Fahrbahnteiler

- teilweise überfahrbar,
- ausschließlich markiert oder
- um wenige Meter zurückversetzt werden.

Maßgebend für die Entscheidung, ob und wie Fahrbahnteiler ausgeführt werden, sind neben den Platzverhältnissen die Verkehrsstärken der Fußgänger und Kraftfahrzeuge sowie der verfügbare Kostenrahmen (MWM TV, 1999).

Fahrbahnteiler sollten senkrecht zum Rand der Kreisfahrbahn angeordnet werden und mindestens eine Breite von 1,60 m besitzen. Als Überque-

rungshilfe für Fußgänger sollte der Fahrbahnteiler im Bereich der Überquerungsstelle eine Breite von 2,00 m (2,50 m bei Mitbenutzung von Radfahrern) aufweisen.

Der positive Einfluss von Fahrbahnteilern auf die Verkehrssicherheit der motorisierten und nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer wird in BÜHLMANN et al. (2007) durch die frühzeitige Geschwindigkeitsreduktion – bereits in der Kreiszufahrt – begründet.

### 2.2.8 Fußgängerverkehr

Gemäß dem Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (FGSV, 2006a) sollten an Minikreisverkehren in allen Knotenpunktarmen Überquerungsstellen in Form von Fußgängerüberwegen (StVO-Zeichen 293) mit einem Abstand von nicht mehr als 4 bis 5 m vom Rand der Kreisfahrbahn angeordnet werden. Mit Hilfe dieser Fußgängerüberwege wird eine eindeutige und allgemein verständliche Regelung angestrebt.

Insbesondere an Minikreisverkehren können die kurzen Distanzen zwischen Zu- und Ausfahrten für querende Fußgänger die Einschätzung erschweren, ob ein herannahendes Fahrzeug im Kreis verbleibt oder den Kreis verlässt – vgl. MWMTV (1999). Diese Problematik wird durch die Bevorrechtigung der querenden Fußgänger mittels Fußgängerüberweg umgangen.

Für Sehbehinderte ist es notwendig, Bodenindikatoren (Noppenprofil) quer zur Gehrichtung einzubauen, da für diese Personengruppe ein Kreisverkehr als problematisch einzustufen ist. Die Sicht der in den Kreisverkehr ein- und ausfahrenden Kraftfahrer auf den Aufstellbereich der Fußgänger am Fahrbahnrand bzw. auf den Fahrbahnteilern muss gewährleistet werden um die Sicherheit der Fußgänger nicht zu beeinträchtigen.

HALLER/LANGE (2000) stellten bei der Untersuchung von Fußgänger- und Radverkehrsführungen an Kreisverkehrsplätzen fest, dass die verkehrsrechtliche Vorrangregelung kaum bekannt ist (StVO § 9 (1): Vorrang querender Fußgänger in der Ausfahrt, kein Vorrang gegenüber in den Kreis einfahrenden Fahrzeugen). Eine Befragung der Fußgänger zeigte, dass nur der Hälfte der Fußgänger die Regelung bekannt ist. An Querungsstellen ohne Fußgängerüberweg wurde beobachtet, dass Fußgänger in der Ausfahrt häufiger auf ihren Vorrang

verzichten. Dass die Kreisausfahrten das höhere Sicherheitsrisiko für querende Fußgänger aufweisen, spiegelte sich auch in den Ergebnissen der Unfallanalyse wider. So war die Mehrzahl der Unfälle mit Fußgängerbeteiligung, allerdings bei vorhandenen Fußgängerüberwegen, im Bereich der Kreisausfahrten zu beobachten. Insgesamt war das Unfallgeschehen zwischen querenden Fußgängern und in den Kreis ein- bzw. ausfahrenden Fahrzeugen sehr gering (7 Unfälle mit Fußgängern an 46 untersuchten Kreisverkehren), sodass HALLER/LANGE (2000) kleine Kreisverkehrsplätze als vergleichsweise sichere Knotenpunktform für die Fußgänger einstufen. Das Fehlen von Fahrbahnteilern oder Fußgängerüberwegen wurde allerdings von der Hälfte der befragten Fußgänger bemängelt.

### 2.2.9 Radverkehr

Radfahrer werden mit dem Kraftverkehr auf der Kreisbahn geführt. Ein Schutz- oder Radfahrstreifen ist auf der Kreisfahrbahn nicht zu markieren. Separate Radverkehrsanlagen sind an Minikreisverkehren aufgrund der i. d. R. beengten Platzverhältnisse Ausnahmelösungen.

BRILON/BONDZIO (2002) stellten bei der Untersuchung von Minikreisverkehren in Nordrhein-Westfalen fest, dass die Führung der Radfahrer im Mischverkehr auf der Fahrbahn eine sichere und i. d. R. von den Radfahrern akzeptierte Lösung darstellt. Die meisten Radfahrer fahren in der Mitte der Fahrbahn und werden auch durch die Kraftfahrer als gleichberechtigte Verkehrsteilnehmer akzeptiert, da diese durch das geringe Geschwindigkeitsniveau selber nicht schneller fahren. Lediglich an hoch belasteten Minikreisverkehren benutzten unsichere Radfahrer den Gehweg. Eine schmale Fahrbahn begünstigt die Sicherheit der Radfahrer, da Radfahrerüberholungen im Kreis wirkungsvoll vermieden werden.

Sind in den zuführenden Straßen Radverkehrsanlagen vorhanden, so sollten bei der Einführung des Radverkehrs in den Kreisverkehr

- Radfahrstreifen ca. 10 m vor Beginn des Fahrbahnteilers enden und als Schutzstreifen bis zum Beginn des Fahrbahnteilers weitergeführt werden,
- separate Radverkehrsanlagen in der Knotenpunktzufahrt frühzeitig auf die Fahrbahn geführt und dann als kurzer Radfahrstreifen weiter auf

der Fahrbahn geführt werden (Einleitung in den Kreis s. o.).

### 2.2.10 Öffentlicher Personennahverkehr

Gemäß FGSV (2006a) sollte an Minikreisverkehren auch dann nicht auf den Höhenunterschied (ca. 4 cm) zwischen Kreisfahrbahn und überfahrbarer Kreisinsel verzichtet werden, wenn sie regelmäßig von Linienbussen befahren werden. Wird aufgrund des Fahrkomforts für Linienbusse ein niedrigerer Höhenunterschied gewählt, muss vermehrt damit gerechnet werden, dass dieser auch von Pkw überfahren wird – vgl. BÜHLMANN et al. (2007).

Haltestellen für Linienbusse können unmittelbar vor oder hinter dem Kreisverkehr angelegt werden. In den Kreiszufahrten können die Linienbusse unmittelbar auf der Fahrbahn halten, wobei hier eine Lage nahe dem Fahrbahnsteiler zu favorisieren ist, um ein- und aussteigende Fahrgäste vor überholenden Fahrzeugen zu schützen. Dabei ist zu prüfen, ob der durch den Bus verursachte zeitweilige Rückstau im Hinblick auf die Verkehrsqualität vertretbar ist. Liegt die Bushaltestelle im Bereich der Kreisausfahrt, ist in der Regel die Einrichtung einer Bushaldebucht erforderlich, um einen Rückstau in den Kreisverkehr zu verhindern.

Minikreisverkehre und schienengebundener öffentlicher Personenverkehr sind nicht miteinander verträglich.

## 2.3 Vorliegende Untersuchungen zur Verkehrssicherheit an Minikreisverkehren

Die Untersuchungen von Minikreisverkehren in Deutschland (MWMTV, 1999, BRILON/BONDZIO, 1999, BRILON/BÄUMER/FLOTTMANN, 2002) haben gezeigt, dass sich Minikreisverkehre insbesondere bei der Umgestaltung von Knotenpunkten mit abknickender Vorfahrt aus Sicht des Unfallgeschehens bewährt haben.

MAYCOCK/HALL (1984) untersuchten das Unfallgeschehen an 4-armigen Kreisverkehren in Großbritannien. Es wurde das Unfallgeschehen von Minikreisverkehren sowie von ein- und zweistreifigen Kreisverkehren analysiert. Neben einem höheren fahrleistungsbezogenen Unfallrisiko (Unfallrate) fielen die Minikreisverkehre gegenüber den klassischen Kreisverkehren mit befestigter Kreisinsel

durch einen sehr hohen Anteil an Vorfahrtunfällen (71 % vs. 20 %) auf. Die Analyse geometrischer Einflussfaktoren auf das Unfallgeschehen zeigte für die drei Gestaltungsmerkmale

- Kreisinseldurchmesser,
- Einfahrwinkel (Winkel zwischen Zufahrt und Kreisfahrbahn) und
- Ablenkung der geradeaus fahrenden Fahrzeuge (Krümmung der Fahrlinie bei der Einfahrt in den Kreisverkehr)

eine deutliche statistische Signifikanz.

KENNEDY et al. (1998) untersuchten das Unfallgeschehen an 200 3-armigen und 100 4-armigen Minikreisverkehren in Großbritannien über einen Zeitraum von sieben Jahren. Ziel war die Abbildung modelltheoretischer Zusammenhänge zwischen Auftretenshäufigkeit von Unfällen bzw. typischen Unfallabläufen an Minikreisverkehren und der Verkehrsbelegung bzw. der Gestaltung der Anlagen. Dazu wurden Explorationsgrößen, welche die Gestaltung und den Verkehrsablauf betreffen, dem Unfallgeschehen an Minikreisverkehren mit Hilfe verallgemeinerter linearer Modelle gegenübergestellt. Kernaussagen der Untersuchung waren:

- Die mittlere Unfallschwere an Minikreisverkehren war deutlich niedriger als an sonstigen vorfahrtgeregelten Knotenpunkten oder an Knotenpunkten mit LSA.
- Die Unfallrate von Unfällen unter Beteiligung von Radfahrern bzw. Motorradfahrern war an den untersuchten Minikreisverkehren deutlich höher als die Unfallrate der Unfälle mit ausschließlicher Pkw-Beteiligung.
- Der Beitrag der Unfallrate der Radfahrer an der Gesamtunfallrate war an Minikreisverkehren höher als an vorfahrtgeregelten Knotenpunkten. Bei den Unfällen unter Beteiligung von Motorradfahrern entsprach der Beitrag an der Gesamtunfallrate an Minikreisverkehren der an Knotenpunkten ohne LSA. LSA-geregelte Knotenpunkte wiesen im Vergleich die niedrigsten Unfallratenanteile bezogen auf die Unfälle unter Zweiradbeteiligung auf.
- Der Ausführung der Kreisinsel konnte kein Einfluss auf das Unfallgeschehen nachgewiesen werden. Ausnahme bildeten Alleinunfälle an 4-armigen Minikreisverkehren, für die das Un-

fallrisiko an Minikreisverkehren mit gewölbter Kreisinsel höher war als an Minikreisverkehren mit flacher bzw. gepflasterter Kreisinsel.

- An 3-armigen Minikreisverkehren waren steigende Unfallzahlen in Form von Vorfahrtunfällen beim Einfahren in den Kreis bzw. Auffahrtunfällen auf der Kreisfahrbahn im Bereich der Zufahrten bei zunehmendem Anteil an Zweiradfahrern zu beobachten. An 4-armigen Minikreisverkehren war dieser Zusammenhang nicht signifikant, obwohl die Beteiligungsrate der Zweiradfahrer hoch war.
- Als maßgebender Einflussfaktor auf das Unfallgeschehen stellte sich der Ablenkungswinkel heraus. Dabei zeigte sich, dass bei großen Ablenkungswinkeln weniger Vorfahrtunfälle beim Einfahren in den Kreis bzw. auf der Kreisfahrbahn zu beobachten waren als bei kleinen Ablenkungswinkeln. Bei den Modelluntersuchungen zeigte sich, dass aufgrund der geringen Durchmesser an Minikreisverkehren der Ablenkungswinkel besser zur Beschreibung statistischer Zusammenhänge zwischen Unfallgeschehen und Ausgestaltung geeignet ist als die Angabe der Ablenkung in Metern. Dies ist dadurch zu erklären, dass geringe Änderungen der absoluten Ablenkung (in m) an Minikreisverkehren vergleichsweise große Ablenkungswinkeländerungen bedeuten können.
- Die Sichtverhältnisse stellten sich als Schlüsselvariable für verschiedene Unfallsituationen dar mit dem Ergebnis, dass mit steigender Annäherungssichtweite die Unfallgefahr stieg. An 3-armigen Minikreisverkehren werden die Sichtverhältnisse maßgeblich durch die Knotenform (T bzw. Y) beeinflusst.
- Weitere Ergebnisse waren die Zunahme der Alleinunfälle bei höheren Busanteilen im Verkehrsstrom und steigende Unfallzahlen mit Fußgängerbeteiligung bei Einkaufsmöglichkeiten im unmittelbaren Umfeld der Minikreisverkehre.

### 3 Übersicht und Typisierung realisierter Minikreisverkehre

#### 3.1 Bundesweite Recherche

Da es kein „Adressbuch“ der Minikreisverkehre in Deutschland gibt, musste in einem ersten Schritt

eine möglichst umfassende Übersicht ausgeführter Minikreisverkehre erstellt werden. Dazu war – wie sich in mehreren Forschungsvorhaben gezeigt hat – eine Doppelstrategie der Recherche sinnvoll: In einigen Bundesländern bewährte sich der Weg über das zuständige Ministerium bzw. den Landesbetrieb, in anderen erschien die direkte Ansprache von Niederlassungen/Ämtern über persönlich bekannte Ansprechpartner (u. a. die von den Anbietern ausgebildeten Sicherheitsauditoren) zielführender. Für Minikreisverkehre in Straßen in kommunaler Baulast standen den Anbietern persönlich bekannte Ansprechpartner in etwa 200 Kommunen im ganzen Bundesgebiet zur Verfügung. Hier war die regionale Spreizung der Ortskenntnis durch die beiden Anbieter aus dem Westen und Osten Deutschlands vorteilhaft. Ergänzend erfolgte eine Internetrecherche, um konkrete Hinweise auf realisierte Minikreisverkehre in weiteren Kommunen zu bekommen, die dann ebenfalls in die Befragung einbezogen wurden.

Die Recherche bei den Verwaltungen erfolgte zunächst mittels eines Kurzfragebogens per E-Mail (Bild 9). Abgefragt wurden dabei alle im jeweiligen Zuständigkeitsbereich ausgeführten Minikreisverkehre mit Angabe des Jahrs der Verkehrsfreigabe und der Straßenbezeichnungen/-namen. Des Weiteren wurden, soweit verfügbar, Lageplankopien angefordert und die Verkehrsbelastung abgefragt (DTV, alternativ Spitzenstunde). Mit diesen Angaben und einer ergänzenden Luftbildanalyse (z. B. mit Google Earth) konnten eine Übersicht und erste Typisierung der Minikreisverkehre nach Lage und Funktion im Straßennetz und Gestaltungsmerkmalen wie Außendurchmesser, bauliche Ausführung der Kreisinsel – gepflastert, asphaltiert (mit Bord) oder nur markiert –, Vorhandensein und Ausführung von Fahrbahnteilern in den Zufahrten usw. erstellt werden. Die Festlegung der relevanten Typisierungsmerkmale erfolgte auf Basis einer vorab durchgeführten Analyse der beiden maßgebenden Regelwerke (FGSV, 2006a, b) sowie in- und ausländischer Literatur einschließlich vorliegender Planungsleitfäden.

Von bundesweit 580 Angefragten haben 242 (42 %) geantwortet, wobei die Antwortbereitschaft nach Bundesländern im Mittel mit ebenfalls 42 % recht erfreulich war (Bild 10).

In den 242 Antworten wurden insgesamt 339 Minikreisverkehre benannt und mit – in unterschiedlicher

**Absender/Ansprechpartner**  
 Name: \_\_\_\_\_  
 Dienststelle: \_\_\_\_\_  
 Adresse: \_\_\_\_\_  
 Telefon: \_\_\_\_\_  
 Telefax: \_\_\_\_\_  
 E-Mail: \_\_\_\_\_

Bitte bis zum 31. August 2009 zurücksenden an:

Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik  
 Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“  
 TU Dresden  
 01062 Dresden

oder per Telefax: +49 (0)351 463-36502

**Fragebogen zur Erfassung realisierter Minikreisverkehre**  
*Fragebogen bei Bedarf bitte kopieren!*

Angaben zum Minikreisverkehr

Stadt/Gemeinde: \_\_\_\_\_

Straßennamen (bzw. Straßennummern): \_\_\_\_\_

Knotenpunktlage:

Knotenpunkt im Erschließungsstraßennetz  
 Knotenpunkt zwischen Hauptverkehrs- und Erschließungsstraßen  
 Knotenpunkt im Hauptverkehrsstraßennetz  
 Knotenpunkt im Ortseinfahrtbereich

Jahr der Verkehrsfreigabe: \_\_\_\_\_

Verkehrsbelastung (DTV, Spitzenstunde, ...): \_\_\_\_\_

Lageplan:

Kopie als Anlage beigelegt  
 Lageplan nicht verfügbar

Unfalldaten/Verkehrsunfallanzeigen:

Unfalldaten/Verkehrsunfallanzeigen verfügbar  
 Unfalldaten/Verkehrsunfallanzeigen nicht verfügbar

Ansprechpartner: \_\_\_\_\_  
 Dienststelle: \_\_\_\_\_  
 Telefon: \_\_\_\_\_  
 E-Mail: \_\_\_\_\_

BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH (Aachen)  
 Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik der TU Dresden

Bild 9: Kurzfragebogen

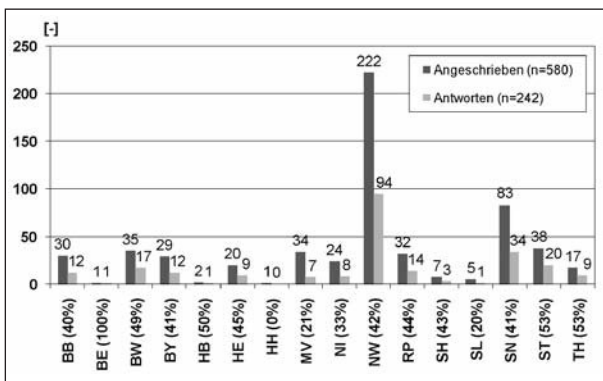


Bild 10: Rücklauf der Befragung nach Bundesländern (im Mittel 42 %)

Vollständigkeit<sup>1</sup> – den angefragten Angaben versehen. Das deutliche Übergewicht der Nennungen aus Nordrhein-Westfalen ist z. T. auf die größere Anzahl angeschriebener Stellen, im Wesentlichen

<sup>1</sup> Hierdurch variiert die Anzahl der Grundgesamtheit für die Analyse der unterschiedlichen Merkmale.

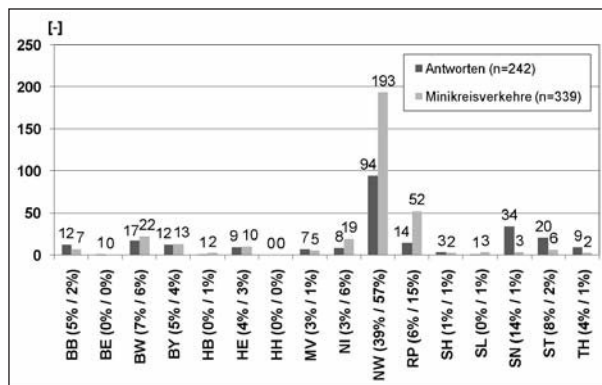


Bild 11: Antworten und Nennungen von Minikreisverkehren nach Bundesländern

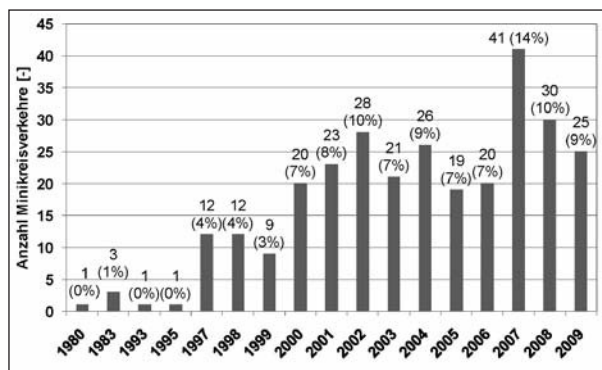


Bild 12: Jahr der Verkehrsfreigabe (n = 292)

aber auf die gewisse Vorreiterrolle dieses Landes bei der Entwicklung und Verbreitung von Minikreisverkehren zurückzuführen. Ähnlich dürfte sich die Anzahl der Nennungen aus Rheinland-Pfalz begründen (Bild 11).

Was die Realisierungszeiten von Minikreisverkehren in Deutschland angeht, so zeigt sich seit den 1980er und 1990er Jahren ein stetiger Anstieg bis etwa zur Jahrtausendwende, um dann tendenziell auf diesem Niveau zu verbleiben (Bild 12).

Für die im weiteren Verlauf der Untersuchung durchzuführende Verkehrssicherheitsanalyse ist es notwendig, einen Dreijahreszeitraum nach Verkehrsfreigabe zu betrachten. Dies bedeutet, dass in diese Analyse nur Minikreisverkehre einbezogen werden können, die vor 2006 unter Verkehr genommen wurden und für die entsprechend zum gegenwärtigen Zeitpunkt (Herbst 2009) die Unfalldaten aus den Jahren 2006, 2007 und 2008 aufbereitet zur Verfügung stehen. Dies ist mit der gewonnenen Stichprobe von 197 Minikreisverkehren, die vor 2006 realisiert wurden, gewährleistet (Bild 13). Für 21 Minikreisverkehre war das Jahr der Verkehrsfreigabe nicht angegeben.

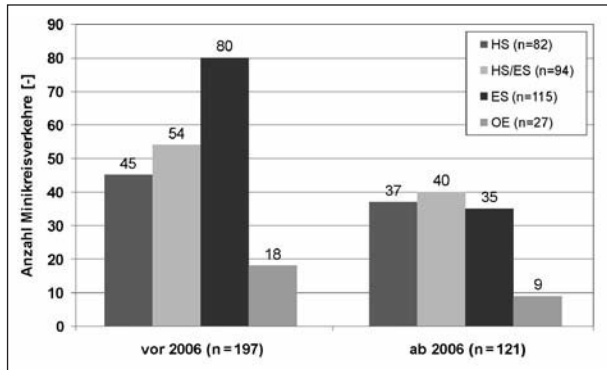


Bild 13: Jahr der Verkehrsfreigabe nach Klasse und Lage (n = 318)

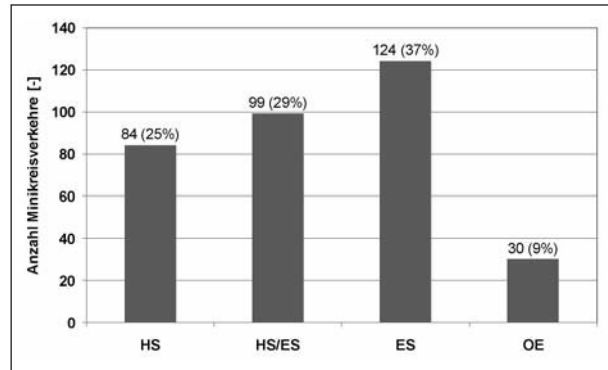


Bild 14: Knotenpunktage (n = 337)

### 3.2 Ausgewählte Merkmale der erfassten Minikreisverkehre

Minikreisverkehre werden in Deutschland zu einem großen Teil im Erschließungsstraßennetz (ES) eingesetzt (37 %), aber ebenfalls häufig bei der Verknüpfung von Hauptverkehrsstraßen untereinander (HS, 25 %) und beim Anschluss von Erschließungsstraßen an Hauptverkehrsstraßen (HS/ES, 29 %). Die Nennung von Minikreisverkehren in Ortseinfahrtbereichen (OE) fällt einerseits mit 9 % am geringsten aus, ist andererseits im Bezug auf die Empfehlungen in den Regelwerken (kein Einsatz in Ortseinfahrtbereichen, vgl. Kapitel 2.1.2) erstaunlich hoch.

Der überwiegende Teil der gemeldeten Minikreisverkehre (85 %) weist die im Regelwerk (FGSV, 2006a, b) empfohlenen Außendurchmesser zwischen 13 m und 22 m auf. Abweichungen nach unten sind äußerst selten (2 %), eher wird der Außendurchmesser größer angelegt (13 %), wie in Bild 15 dargestellt ist. Für 13 Minikreisverkehre lagen weder Lagepläne vor, noch existierten verwertbare Luftbilder.

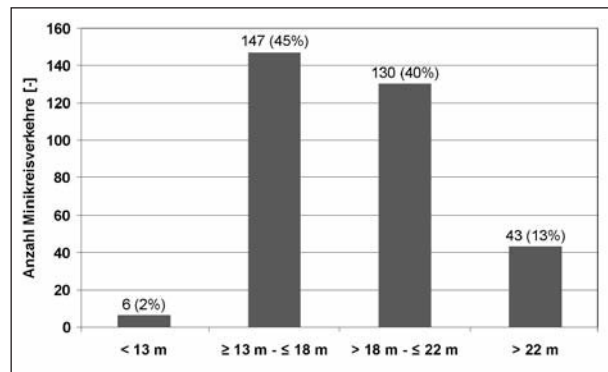


Bild 15: Außendurchmesser nach Klassen (n = 326)

Ein Einfluss der Lage im Netz und damit der zu verknüpfenden Straßenkategorien auf die geometrische Ausdehnung lässt sich nicht ableiten. Allenfalls kann eine Tendenz zu kleineren Außendurchmessern bei Erschließungsstraßen festgestellt werden (Bild 16).

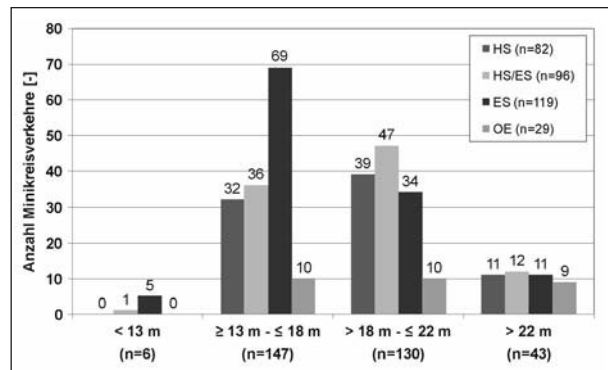


Bild 16: Außendurchmesser nach Klasse und Lage (n = 226)

Der im Regelwerk (FGSV, 2006a, b) geforderte Mindestdurchmesser der Kreisinsel von 4 m wird nur in wenigen Fällen unterschritten (6 %). Dominant sind Kreisinseldurchmesser von 6 m bis 10 m (50 %), aber es werden auch in nennenswertem Maße (30 %) Inseldurchmesser größer 10 m eingesetzt (Bild 17).

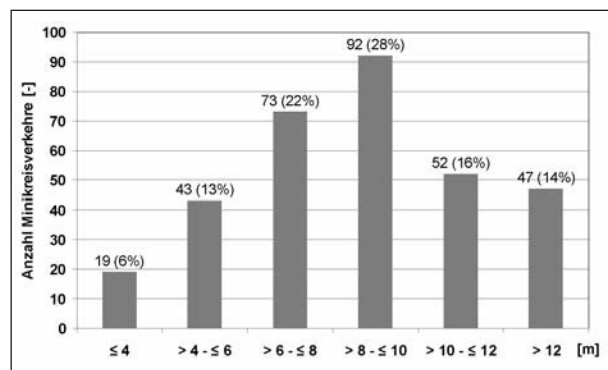


Bild 17: Kreisinseldurchmesser nach Klasse (n = 326)

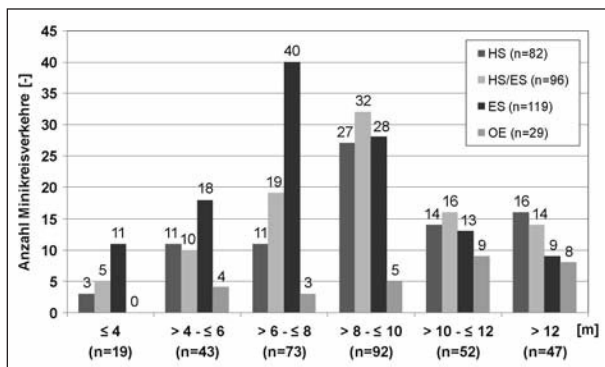


Bild 18: Kreisinseldurchmesser nach Klasse und Lage (n = 326)

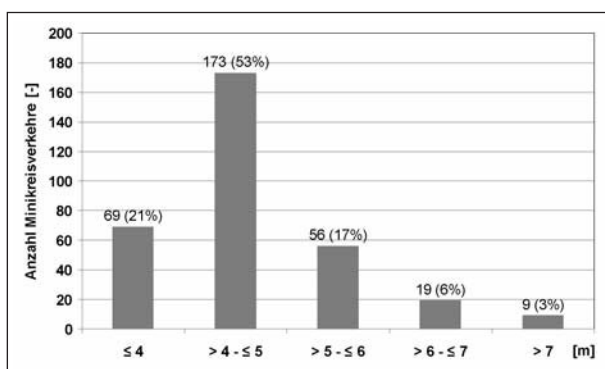


Bild 19: Kreisfahrbahnbreite nach Klasse (n = 326)

Die beim Außendurchmesser genannte Tendenz zu kleineren Abmessungen im Erschließungsstraßennetz verstärkt sich bei der Betrachtung der Kreisinseldurchmesser deutlich.

Kleinere Kreisinseldurchmesser zwischen 4 m und 8 m werden überwiegend bei Erschließungsstraßen eingesetzt (Bild 18).

In den weit überwiegenden Fällen (70 %) werden für die Kreisfahrbahn die im Regelwerk (FGSV, 2006a, b) empfohlenen Breiten zwischen 4 m und 6 m angewandt, 21 % der Kreisfahrbahnen weisen eine geringere Breite als 4 m auf, wobei die geringste genannte Breite bei 3,00 m liegt. Nur etwa 9 % der Minikreisverkehre verfügen über Fahrbahnbreiten über 6 m (Bild 19).

Am häufigsten (ca. 29 %) werden Inseldurchmesser zwischen 6 m und 10 m mit Kreisfahrbahnbreiten von 4 m bis 5 m kombiniert. In etwa 10 % der Fälle werden kleinere, in etwa 12 % größere Kreisfahrbahnbreiten bei dieser Inselgröße gewählt (Tabelle 1).

Minikreisverkehre, die vor 1999<sup>2</sup> realisiert worden sind, machen ca. 10 % der Antworten aus und von diesen wurden in rund 87 % der Fälle Kreisfahrbahnbreiten

Inseldurchmesser [m]	Kreisfahrbahnbreite [m]					Gesamt
	≤ 4	> 4 bis 5	> 5 bis 6	> 6 bis 7	> 7	
≤ 4	1	8	6	3	1	19
> 4 bis 6	4	27	10	1	1	43
> 6 bis 8	14	41	13	2	3	73
> 8 bis 10	19	52	13	7	1	92
> 10 bis 12	14	24	8	5	1	52
> 12	17	21	6	1	2	47
<b>Gesamt</b>	<b>69</b>	<b>173</b>	<b>56</b>	<b>19</b>	<b>9</b>	<b>326</b>

Tab. 1: Kombination von Inseldurchmesser und Kreisfahrbahnbreite

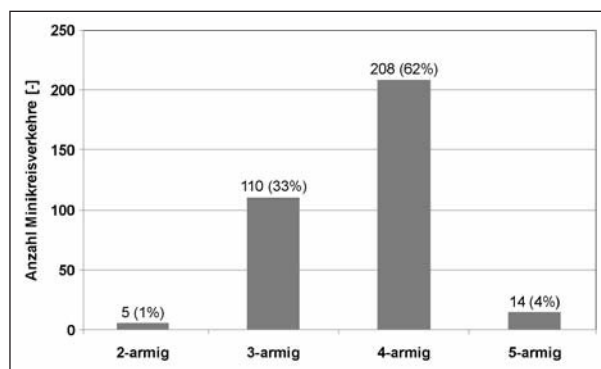


Bild 20: Anzahl Knotenpunktarme (n = 337)

bahnbreiten zwischen 4 m und 6 m (empfohlene Breiten im Regelwerk FGSV, 2006a, b) angewandt.

Überwiegend werden Minikreisverkehre bei vierarmigen Knotenpunkten eingesetzt (62 %). Ein Drittel der Minikreisverkehre weist drei Knotenpunktarme auf, nur in wenigen Fällen (4 %) verknüpft ein Minikreisverkehr fünf Knotenpunktarme. In 1 % der Fälle werden zwei Knotenpunktarme verknüpft (Bild 20).

Die Dominanz der vierarmigen Minikreisverkehre zeigt sich am deutlichsten im Erschließungsstraßennetz, hier sind die Minikreisel mit vier Knotenpunktarmen mehr als doppelt so häufig anzutreffen wie diejenigen mit drei Knotenpunktarmen. Bei den Anschlussknotenpunkten von Erschließungsstraßen an Hauptverkehrsstraßen und bei den Knotenpunkten von Hauptverkehrsstraßen untereinander ist der Anteil dreiarmer Minikreisverkehre demgegenüber höher (Bild 21).

<sup>2</sup> In diesem Jahr wurden Untersuchungen an Minikreisverkehren in Nordrhein-Westfalen durchgeführt (BRILON/BONDZIO, 1999).



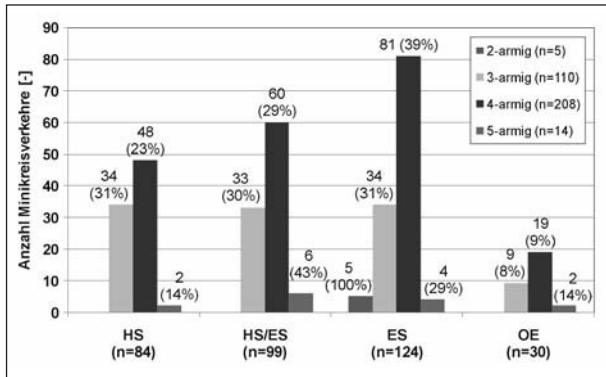


Bild 21: Anzahl Knotenpunktarme nach Lage (n = 337)

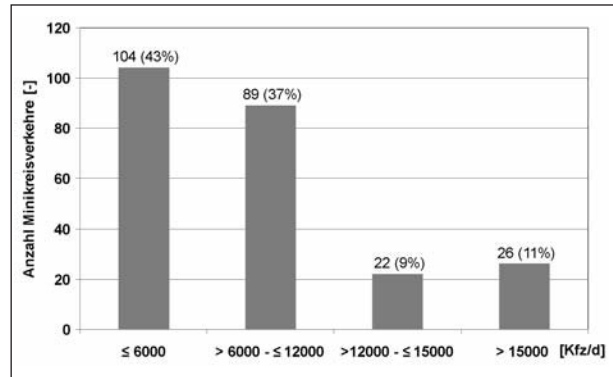


Bild 24: DTV nach Klasse (n = 241)

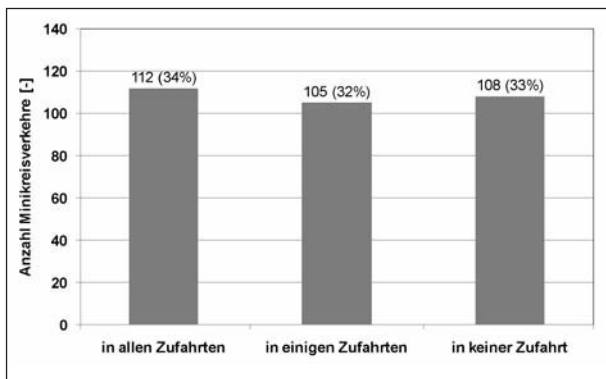


Bild 22: Vorhandensein von Fahrbahnteilern (n = 325)

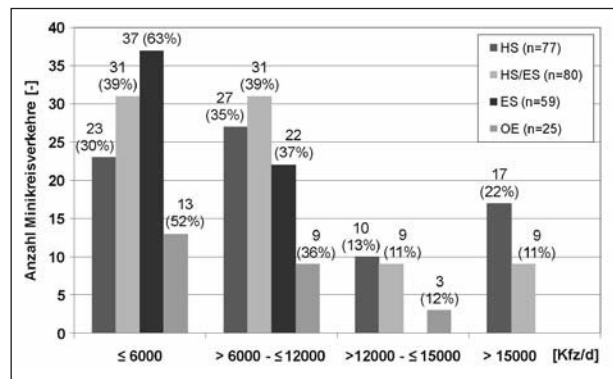


Bild 25: DTV nach Klasse und Lage (n = 241)

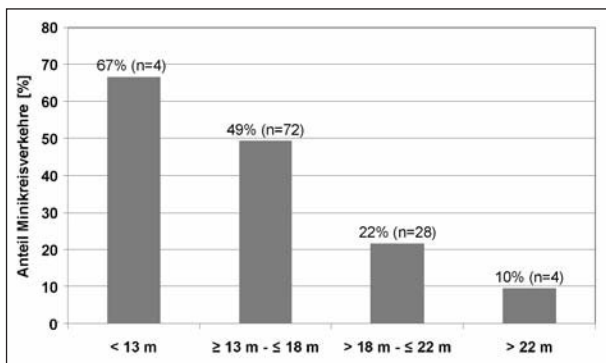


Bild 23: Anteil Mini-Kreisverkehre ohne Fahrbahnteiler nach Außendurchmesser (n = 108)

Bei einem Drittel (33 %) der dokumentierten Mini-Kreisverkehre ist in den Zufahrten keine Fahrbahnteiler vorhanden.

Ebenfalls rund ein Drittel (34 %) der erfassten Mini-Kreisverkehre ist mit Fahrbahnteilern in allen Zufahrten ausgestattet und 32 % weisen Fahrbahnteiler in einigen Knotenpunktarmen auf (Bild 22).

Der Verzicht auf Fahrbahnteiler erfolgt erwartungsgemäß überwiegend bei kleinen Außendurchmessern der Mini-Kreisverkehre, also bei zu vermutender Flächenknappheit (Bild 23).

Die meisten der recherchierten Mini-Kreisverkehre weisen geringe (43 %) bzw. mittlere (37 %) Verkehrsstärken auf.

Bei nur etwa 11 % reichen sie in den Bereich der Kapazitäten von kleinen Kreisverkehren (Bild 24).

Erwartungsgemäß nimmt der Anteil der Mini-Kreisverkehre im Erschließungsstraßennetz mit steigender Belastungsklasse ab. Auch der Anteil der Mini-Kreisverkehre der Ortseinfahrten nimmt mit steigender Belastungsklasse ab. Die Anteile der Knotenpunkte zwischen Hauptverkehrsstraßen steigen an (Bild 25).

### 3.3 Vorschlag für eine Typisierung

Die durchgeführten Auswertungen der vorliegenden Fragebögen haben zunächst gezeigt, dass die vorgenommene Differenzierung nach der Lage der Mini-Kreisverkehre

- Knotenpunkt von Hauptverkehrsstraßen untereinander,
- Knotenpunkt zwischen Hauptverkehrs- und Erschließungsstraßen,

Lage im Netz	HS/HS
	HS/ES
	ES/ES
	OE
Anzahl Knotenpunktarme	3
	4
Größe (Außendurchmesser)	< 13 m
	≥ 13 m - ≤ 18 m
	> 18 m - ≤ 22 m
	> 22 m
Verkehrsstärke DTV [Kfz/24h]	≤ 6.000
	> 6.000 - ≤ 12.000
	> 12.000 - ≤ 15.000
	> 15.000

Tab. 2: Vorschlag für eine Typisierungsstruktur nach Auswertung der Fragebögen

- Knotenpunkt im Erschließungsstraßennetz und
- Knotenpunkt im Ortseinfahrtsbereich

zweckmäßig ist, da die Ausprägung wesentlicher Merkmale mit der unterschiedlichen Lage korrespondiert und diese Differenzierung für die spätere Anwendung der Ergebnisse in der Praxis orientierungsstark ist.

Abgeleitet aus der Netzstruktur ergibt sich als weiteres Typisierungsmerkmal die Anzahl der Knotenpunktarme. Hier soll als die wichtigsten Formen zwischen

- dreiarmigen Minikreisverkehren,
- vierarmigen Minikreisverkehren

unterschieden werden.

Als wesentliches Merkmal kann die Größe der Minikreisverkehre – ausgedrückt durch den Außendurchmesser – angesehen werden.

In Anlehnung an die Aussagen im Regelwerk wird vorgeschlagen, Minikreisverkehre mit Außendurchmessern von

- kleiner 13 m,
- 13 m bis 18 m,
- größer 18 m bis 22 m,
- größer 22 m

zu unterscheiden.

Als weiteres Typisierungsmerkmal soll die Verkehrsstärke als die Summe der Zuläufe an einem Tag herangezogen werden, die – ebenfalls in Anlehnung an das Regelwerk – in die Klassen

- kleiner/gleich 6.000 (Kfz/24 h),
- größer 6.000 bis 12.000 (Kfz/24 h),
- größer 12.000 bis 15.000 (Kfz/24 h),
- mehr als 15.000 (Kfz/24 h)

eingeteilt wird.

Den zusammenfassenden Überblick über die Typisierungsstruktur gibt Tabelle 2.

### 3.4 Auswahl der näher zu untersuchenden Minikreisverkehre

Im nächsten Schritt der Untersuchung sollten ca. 100 Fallbeispiele ausgewählt und hinsichtlich der Verkehrssicherheit analysiert werden. Die Auswahl musste sich an der vorliegenden bzw. zu ergänzenden Datenverfügbarkeit orientieren.

Um diese vorgesehenen Fallbeispiele zusammenzustellen, wurde geprüft, sowohl ergänzende Unfalldaten als auch Verkehrsbelastungsdaten zu erhalten. Angestrebt wurde dabei eine Zusammensetzung der Fallbeispiele mit

- 35 Hauptverkehrsstraßenknotenpunkten,
- 35 Anschlussknotenpunkten,
- 20 Knotenpunkten im Erschließungsstraßennetz,
- 10 Knotenpunkten in Ortseinfahrtsbereichen.

Im Ergebnis konnten 104 Minikreisverkehre zusammengestellt und untersucht werden, die die angestrebte Aufteilung recht zutreffend erreichten (siehe hierzu auch Tabelle 42 bis Tabelle 45, Kapitel 8.2).

### 3.5 Ausgewählte Vor-Ort-Analysen

Ein wichtiger Sicherheitsaspekt von Minikreisverkehren ist die Erkennbarkeit des Knotenpunktes mit seiner Vorfahrtsregelung. Die Qualität der Erkennbarkeit wurde durch Befahrung von 20 ausgewählten Minikreisverkehren ebenso untersucht wie die Frage der Ausgestaltung der Fußgänger- und Radverkehrsführung sowie der Barrierefreiheiten durch Begehung.

Ausgewählt wurden zum einen die 10 Minikreisverkehre, die in den Fragebögen dem Lagetyp „Ortseinfahrtsbereich“ zugeordnet worden waren, weil bei dieser Lage die Erkennbarkeit des Knotenpunkts von besonderer Bedeutung ist.

Unabhängig vom Lagetyp wurden darüber hinaus die 10 Minikreisverkehre vor Ort analysiert, die die meisten Unfälle aufwiesen.

### 3.5.1 Erkennbarkeit

Zunächst ist festzustellen, dass von den 10 mit „Ortseinfahrtsbereich“ bezeichneten Minikreisverkehren nur ein einziger tatsächlich im unmittelbaren Bezug zur Ortstafel angelegt wurde (Bild 26).

Alle anderen Minikreisverkehre lagen in deutlicher Entfernung von der Ortstafel und bildeten „lediglich“ den ersten Knotenpunkt in der Ortslage.

Aufgrund dieser Erkenntnis wurden die als „Ortseinfahrtsbereich“ bezeichneten Minikreisverkehre anschließend den Lagen HS oder HS/ES zugeordnet. Hiernach ergibt sich folgende neue Verteilung bei der Lage des Minikreisverkehrs im Netz (Tabelle 3).

Zusammenfassend lässt sich zur Frage der Erkennbarkeit Folgendes feststellen:

- Die Kreisinsel ist in den seltensten Fällen ausreichend zu erkennen.
- Die Anlage von Fußgängerüberwegen mit z. T. aufwändiger Beschilderung trägt deutlich zur Erkennbarkeit des Knotenpunktes bei, nicht aber zur spezifischen Vorfahrtssituation des Minikreisverkehrs.
- Einzelne Fahrbahnteiler in der Knotenpunktzufahrt ziehen die Aufmerksamkeit auf sich und von der Kreisinsel ab.
- Einen wesentlichen Beitrag zur Erkennbarkeit des (Mini-)Kreisverkehrs leistet eine entsprechende Vorwegweisung, wo diese aufgrund der Verkehrsbedeutung der Straßen nicht angebracht ist, werden (vermehrt) besondere Hinweisschilder mit Darstellungen der Fahrbeziehungen und der Vorfahrtregelung aufgestellt (Bild 27).
- Zeichen 205/215 sind oft zu nah am Knotenpunkt und verdeckt aufgestellt.
- Durch die enge Knotenpunktgeometrie und dadurch knappen Abstände zwischen den Zufahr-

Lage im Netz	HS/HS (HS-Netz)	36
	HS/ES (HS-Netz)	32
	ES/ES (ES-Netz)	36

Tab. 3: Neue Typisierungsstruktur mit Anzahl der Knotenpunkte der Verkehrssicherheitsuntersuchung (n = 104 K)



Bild 26: Minikreisverkehr im Ortseinfahrtsbereich



Bild 27: Minikreisverkehrszufahrt mit Hinweisschild

ten werden die vorfahrtsberechtigten Verkehrsteilnehmer auf der kurzen Kreisfahrbahn zu spät erkannt.

### 3.5.2 Fußgänger- und Radverkehrsführung

Die Fußgängerführung über die Kreisverkehrszufahrten zeigt bei allen untersuchten 104 Minikreisverkehren das ganze nur denkbare Spektrum:

- Keinerlei erkennbare bauliche oder auch nur markierte Führung.
- Fahrbahnteiler als Überquerungshilfe in einer, einigen oder allen Zufahrten.

- Fußgängerüberwege in keiner Zufahrt, ansonsten in 2 Zufahrten (im Zuge der höher belasteten Straße) oder in allen Zufahrten (Bild 28).
- Kombinationen von Fahrbahnteilern und Mittelinseln in entsprechender Vielfalt.

Der Radverkehr wird in aller Regel in der Kreisfahrbahn geführt, was sich in den meisten Fällen auch aus den nicht vorhandenen Radverkehrsanlagen der zuführenden Straßen ergibt. In einigen Fällen wird der Radverkehr von Radwegen vor dem Minikreisverkehr auf die Fahrbahn geführt (Bild 29, Tabelle 4).



**Bild 28:** Minikreisverkehrszufahrt mit Fußgängerüberweg



**Bild 29:** Minikreisverkehrszufahrt mit Radverkehrsanlage

Radverkehrsführung	$n_K^*$ [-]
„in allen Zufahrten auf der Fahrbahn“	15 (75 %)
„in einigen Zufahrten auf der Fahrbahn“ und „in einigen Zufahrten im Seitenraum“	3 (15 %)
„in allen Zufahrten im Seitenraum“	2 (10 %)
* (...) = Anteil der Minikreisverkehre [%]	

**Tab. 4:** Radverkehrsführung an 20 Minikreisverkehren (der Vor-Ort-Analysen)

### 3.5.3 Barrierefreiheit

Die überwiegende Anzahl der vor Ort analysierten Minikreisverkehre entsprechen nicht den Anforderungen an eine barrierefreie Gestaltung.

Manchmal sind noch nicht einmal Bordabsenkungen vorhanden (Bild 30), oft werden niedrige Borde mit ca. 3 cm Höhe oder „Eigenbauabsenkungen“ ohne Leitindikatoren angeboten (Bild 31).

In Ausnahmefällen findet man eine Kombination von niedrigem Bord und Nullabsenkung mit kontrastreichen Rillenplatten, aber ohne Hinführung (Bild 32) bzw. Aufmerksamkeitsfelder mit Hinführung mit Rillenplatten (Bild 33).



**Bild 30:** Minikreisverkehrszufahrt ohne Bordabsenkung



**Bild 31:** Minikreisverkehrszufahrt mit Bordabsenkung



**Bild 32:** Minikreisverkehrszufahrt mit Rillenplatten aber ohne Hinführung



**Bild 33:** Minikreisverkehrszufahrt mit Aufmerksamkeitsfeld, Hinführung und Rillenplatten

## 4 Analyse der Verkehrssicherheit

### 4.1 Datengrundlage

Die Analyse der Verkehrssicherheit sollte auf Grundlage des dreijährigen Unfallgeschehens der Jahre 2006, 2007 und 2008 erfolgen. Dies setzt voraus, dass die zu untersuchenden Minikreisverkehre vor 2006 unter Verkehr genommen wurden (vgl. Kapitel 3.1). Weitere Randbedingungen führen dazu, dass nur ein Teilkollektiv der 339 Minikreisverkehre des 1. Arbeitsschritts hinsichtlich des Unfallgeschehens näher untersucht werden konnte. Dies sind im Einzelnen:

- Jahr der Verkehrsfreigabe vor 2006,
- 3 oder 4 Knotenpunktarme,
- Außendurchmesser 13 m bis 22 m,

- komplett überfahrbare Kreisinsel,
- keine zuführenden Einbahnstraßen,
- innerörtliche Lage.

Für die so ausgewählten Minikreisverkehre wurden anschließend die notwendigen Unfalldaten bei den zuständigen Polizeidienststellen bzw. Kreispolizeibehörden angefordert. Hierbei wurden sowohl die Verkehrsunfallanzeigen als auch die Unfalllisten für alle Unfälle der Unfallkategorien 1-4, die sich im Zeitraum vom 01.01.2006 bis zum 31.12.2008 an den Minikreisverkehren ereignet haben, nachgefragt.

Die Unterstützung des Forschungsvorhabens durch die Polizei war größtenteils positiv. Allerdings gab es auch einige Polizeidienststellen, die sich nicht beteiligen wollten bzw. konnten und keine Unfalldaten übermittelt haben. Der Grund dafür sind in erster Linie Erlasse der Innenministerien, nach denen offenbar Projekte dieser Art aus finanziellen Gründen nicht mehr zu unterstützen sind.

Davon betroffen sind die Knotenpunkte in Bayern<sup>3</sup> und einzelne in Nordrhein-Westfalen<sup>4</sup>. Zu diesen Knotenpunkten lagen somit keine Unfalldaten vor, die in Hinblick auf das Unfallgeschehen analysiert werden konnten. Von den übrigen Knotenpunkten liegen die Unfalldaten in unterschiedlicher Vollständigkeit vor. In wenigen Fällen wurden nur die Unfalllisten übermittelt. Der Großteil der Antworten enthielt zudem Verkehrsunfallanzeigen, vereinzelt sogar mit Unfallskizzen, Unfalltypen-Steckkarten und Unfalldiagrammen.

Es verblieben insgesamt 104 Minikreisverkehre (siehe Tabelle 42 bis Tabelle 45, Kapitel 8.2), die hinsichtlich des Unfallgeschehens analysiert werden konnten. Nach der Typisierungsstruktur differenziert ergibt sich die Verteilung der Knotenpunkte

<sup>3</sup> Einzelne Knotenpunkte können dennoch weiter untersucht werden, da mitgeteilt wurde, dass sich an diesen keine Unfälle der Unfallkategorien 1-4 in dem Untersuchungszeitraum der 3 Jahre ereignet haben.

<sup>4</sup> Aufgrund der Vielzahl von Rückfragen durch die Kreispolizeibehörden bezüglich der Unterstützung des Forschungsvorhabens hat das Landesamt für Zentrale Polizeiliche Dienste Nordrhein-Westfalen eine Anfrage an das Innenministerium gestellt. Mitgeteilt wurde, dass es den Kreispolizeibehörden freisteht, die gewünschten Informationen unter Beachtung datenschutzrechtlicher Bestimmungen an den Forschungsnehmer zu übermitteln, sofern dies mit einem vertretbaren Aufwand geschehen kann.

mit Bezug auf die jeweiligen Merkmale wie in Tabelle 5 dargestellt.

Die Zuordnung der Unfallkategorien zu den gebildeten Lagetypen zeigt keinen klaren Zusammenhang, es sei denn, man fasst die Minikreisverkehre, an denen Hauptverkehrsstraßen angebunden sind, zusammen. Man erhält dann ein deutliches Übergewicht der Unfälle mit Leichtverletzten an diesen Knotenpunkten gegenüber Knotenpunkten im reinen Erschließungsstraßennetz (Bild 34).

Ordnet man die Verunglückten den Lagetypen zu (siehe Bild 44), so zeigt sich auch hier wieder, dass die Minikreisverkehre, die Zufahrten von Hauptverkehrsstraßen aufweisen, die größten Verunglücktenzahlen haben.

Lage im Netz	HS/HS (HS-Netz)	36
	HS/ES (HS-Netz)	32
	ES/ES (ES-Netz)	36
Anzahl Knotenpunktarme	3	33
	4	71
Größe (Außendurchmesser)	< 13 m	0
	≥ 13 m - ≤ 18 m	57
	> 18 m - ≤ 22 m	47
	> 22 m	0
Verkehrsstärke DTV [Kfz/24h]	≤ 6.000	41
	> 6.000 - ≤ 12.000	24
	> 12.000 - ≤ 15.000	8
	> 15.000	10
	nicht bekannt	21

Tab. 5: Typisierungsstruktur mit Anzahl der Knotenpunkte der Verkehrssicherheitsuntersuchung (n = 104 K)

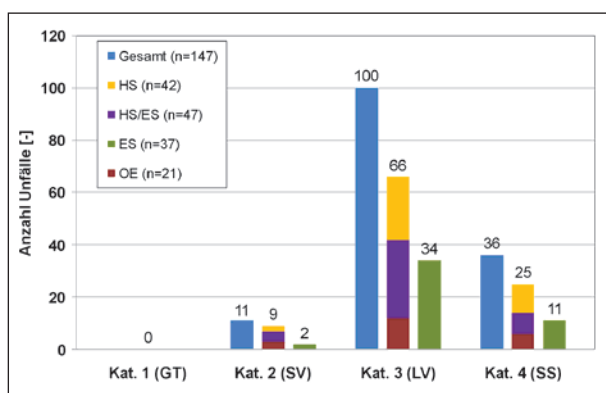


Bild 34: Unfälle nach Unfallkategorie und Lage (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 147)

Vor diesem Hintergrund werden in der weiteren Untersuchung nur noch Knotenpunkte im Hauptverkehrsstraßennetz (HS-Netz) und Knotenpunkte im Erschließungsstraßennetz (ES-Netz) unterschieden.

## 4.2 Abgrenzung der Knotenpunktbereiche und Zuordnung der Unfälle

Die Zuordnung der Unfälle zum Knotenpunkt erfolgte im Wesentlichen über die Auswertung der Verkehrsunfallanzeigen, bei denen eine individuelle Zuordnung vorgenommen wurde, ob der Unfall in Verbindung zum Minikreisverkehr steht oder nicht. Letzteres trifft beispielsweise bei Unfällen zu, die an nebenliegenden Grundstückszu- oder -zufahrten (z. B. von Tankstellen) geschehen sind.

An Knotenpunkten, bei denen als Datengrundlage nur Unfalllisten verfügbar waren, wurden die Unfälle dem Knotenpunkt pauschal zugeordnet. Allenfalls konnten hier Rückschlüsse über zusätzliche Bemerkungen in den Unfalllisten getroffen werden, die Aufschluss über die Besonderheit der Unfallstelle geben.

## 4.3 Analyse der Unfallcharakteristik, Unfall- und Verunglücktenstruktur

Zunächst ist festzustellen, dass fast die Hälfte aller Knotenpunkte, die untersucht wurden, keine Unfälle in dem analysierten 3-Jahreszeitraum aufweist.

Nach der Zusammenfassung der Knotenpunkte bei denen mindestens zwei Zufahrten einer Hauptverkehrsstraße zuzurechnen sind (HS, HS/ES), ergibt sich eine deutlich größere Unfallzahl an diesen als an den verbleibenden Erschließungsstraßen (Bild 35).

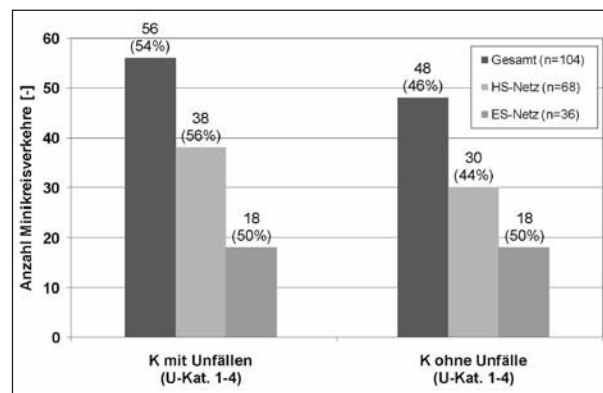


Bild 35: Knotenpunkte mit und ohne Unfälle (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4)

An den untersuchten 104 Minikreisverkehren ereigneten sich im Analysezeitraum 147 Unfälle der Kategorie 1 bis 4, von denen 14 % an 3-armigen und 86 % an 4-armigen Minikreisverkehren zu verzeichnen waren (Bild 36).

Neben den 46 % der untersuchten Minikreisverkehre, die keinen Unfall aufweisen, weisen weitere 43 % 1, 2 oder 3 Unfälle in den betrachteten 3 Jahren auf.

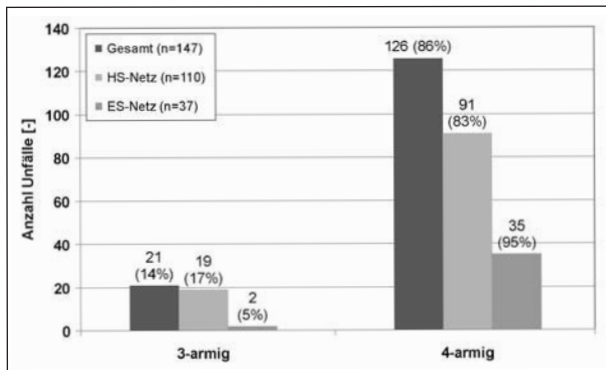


Bild 36: Unfälle nach Anzahl Knotenpunktarme und Lage (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4)

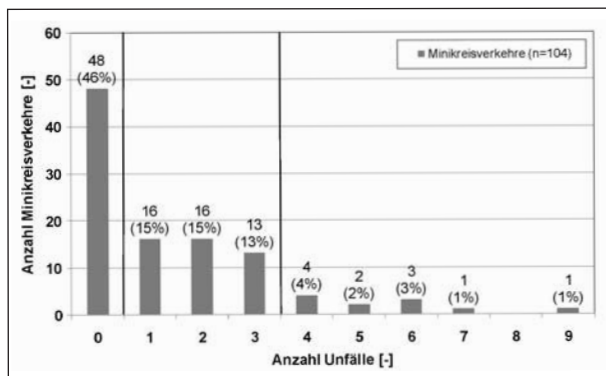


Bild 37: Unfallhäufigkeit an Knotenpunkten (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4)

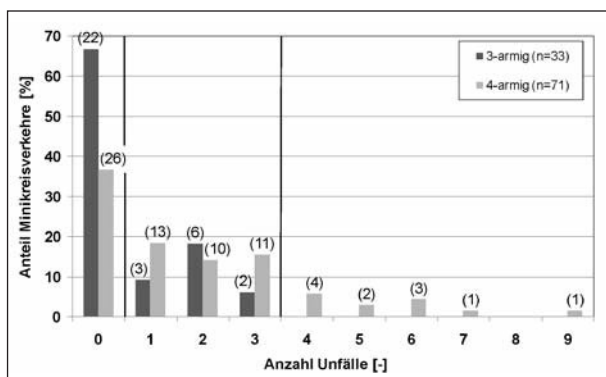


Bild 38: Unfallhäufigkeit an Knotenpunkten nach Anzahl Knotenpunktarme (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4)

9 % der betrachteten Minikreisverkehre weisen 4 bis 6 Unfälle in den 3 Jahren und nur 2 % weisen 7 bzw. 9 Unfälle in den 3 Jahren auf.

Bereits diese Betrachtung macht deutlich, dass man nur etwa 11 % der untersuchten Minikreisverkehre als unfallauffällig bezeichnen kann (Bild 37).

Die Differenzierung der Unfallhäufigkeit nach der Anzahl der Knotenpunktarme ergibt eindeutig, dass die 4-armigen Minikreisverkehre ein höheres Unfallgeschehen aufweisen als die 3-armigen, was allerdings aufgrund der Komplexität und der engen Geometrie der Anlagen nicht verwundert (Bild 38).

### 4.3.1 Unfallschwere

Die Schwere eines Unfalls wird durch die Zuordnung zu insgesamt 6 Unfallkategorien definiert (Tabelle 6).

Die Analyse des Unfallgeschehens an den Minikreisverkehren über die Unfälle der Unfallkategorien 1 bis 4 zeigt eine klare Dominanz der Kategorie 3, also der Unfälle mit Leichtverletzten. Unfälle der Kategorie 2 mit Schwerverletzten kommen nur zu 7 % und Unfälle der Kategorie 1 mit Getöteten kommen gar nicht vor.

24 % aller Unfälle an den betrachteten Minikreisverkehren weisen schwere Sachschäden auf (Bild 39).

Die Zuordnung der Unfallkategorien zu den gebildeten Lagetypen zeigt wiederum ein deutliches Übergewicht der Unfälle mit Leichtverletzten an Hauptverkehrsstraßenknotenpunkten gegenüber Knotenpunkten im reinen Erschließungsstraßennetz (Bild 40).

Unfallkategorie	
1	Unfall mit Getöteten
2	Unfall mit Schwerverletzten
3	Unfall mit Leichtverletzten
4	Schwerwiegender Unfall mit Sachschaden im engeren Sinne
5	Sonstiger Sachschadensunfall
6	Sonstiger Sachschadensunfall unter Alkoholeinwirkung

Tab. 6: Bezeichnung der Unfallkategorien

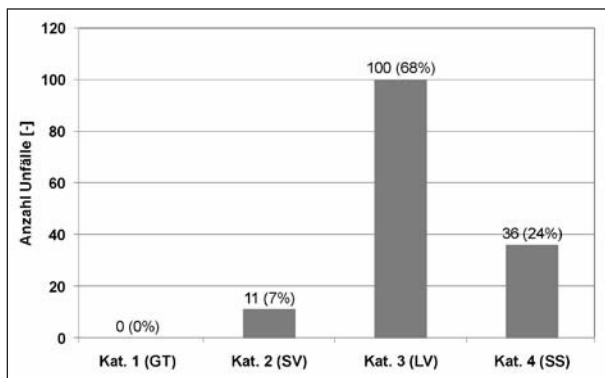


Bild 39: Unfälle nach Unfallkategorie (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 147)

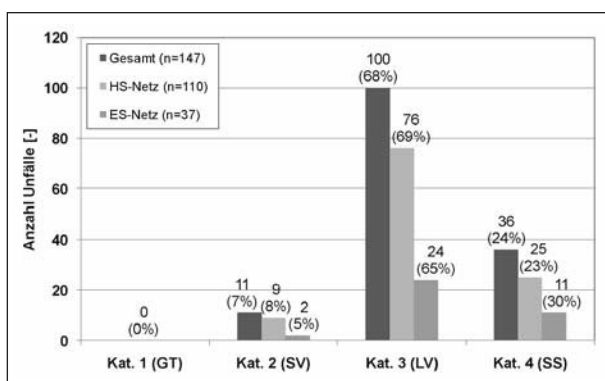


Bild 40: Unfälle nach Unfallkategorie und Lage (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 147)

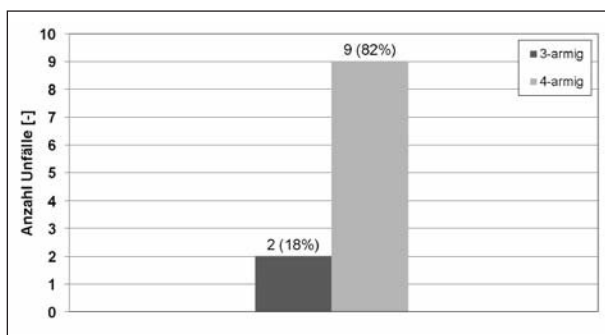


Bild 41: Unfallhäufigkeit an Knotenpunkten nach Anzahl Knotenpunktarme (3 Jahre, Unfallkategorie 2) (n = 11)

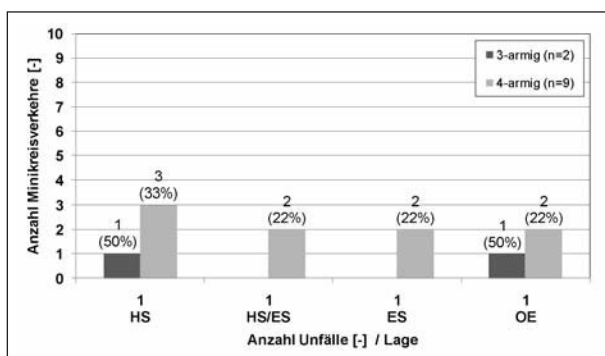


Bild 42: Unfallhäufigkeit an Knotenpunkten nach Lage und Anzahl Knotenpunktarme (3 Jahre, Unfallkategorie 2) (n = 11)

Die festgestellten Unfälle der Kategorie 2, also mit Schwerverletzten, sind in dieser allerdings geringen Stichprobe von Unfällen zum überwiegenden Teil an 4-armigen Knotenpunkten geschehen (Bild 41).

Die Dominanz der Unfallkategorie 2 bei 4-armigen Knotenpunkten zeigt sich unabhängig von der Lage des Mikreisverkehrs im Straßennetz (Bild 42)

### 4.3.2 Verunglücktenstruktur

Die analysierten 147 Unfälle hatten insgesamt 129 Verunglückte zu verzeichnen, diese waren zu 91 % Leichtverletzte und zu 9 % Schwerverletzte (Bild 43).

Ordnet man diese Verunglückten den Lagetypen zu, so zeigt sich auch hier wieder, dass die Mikreisverkehre, die Zufahrten von Hauptverkehrsstraßen aufweisen, die größten Verunglücktenzahlen haben (Bild 44).

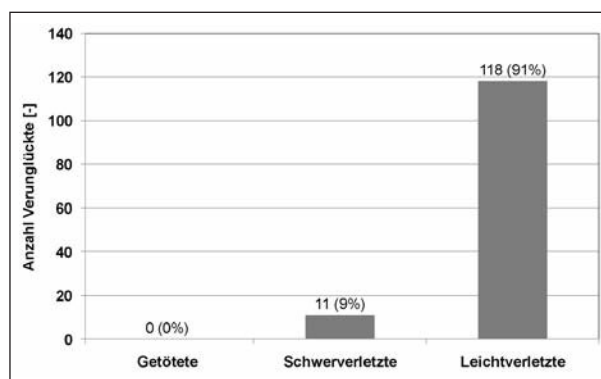


Bild 43: Verunglückte (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 129)

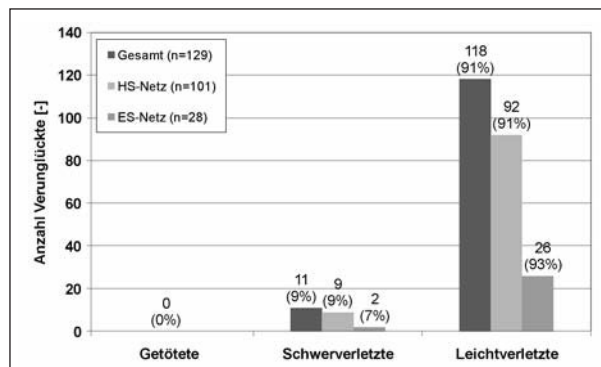


Bild 44: Verunglückte nach Lage (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 129)



### 4.3.3 Unfalltypenstruktur

Die Unfalltypen kennzeichnen den Verkehrsvorgang bzw. die Konfliktsituation, woraus der Unfall entstanden ist. Es werden 7 Unfalltypen definiert (Tabelle 7).

Das Unfallgeschehen an Minikreisverkehren wird eindeutig durch Unfälle des Typs 3 Einbiegen/Kreuzen beherrscht. Dieser Typ weist einen 67%igen Anteil an den Unfällen auf, dem gegenüber sind Fahrnfälle nur mit 13 %, Abbiegeunfälle und Längsverkehrsunfälle mit 7 %, Überschreiten-Unfälle mit 3 %, Unfälle mit ruhendem Verkehr mit 1 % und sonstige Unfälle nur mit 2 % am Unfallgeschehen beteiligt (Bild 45).

Unfalltyp	
1	Fahrnfall (F)
2	Abbiege-Unfall (AB)
3	Einbiegen/Kreuzen-Unfall (EK)
4	Überschreiten-Unfall (ÜS)
5	Unfall durch ruhenden Verkehr (RV)
6	Unfall im Längsverkehr (LV)
7	Sonstiger Unfall (SO)

Tab. 7: Bezeichnung der Unfalltypen

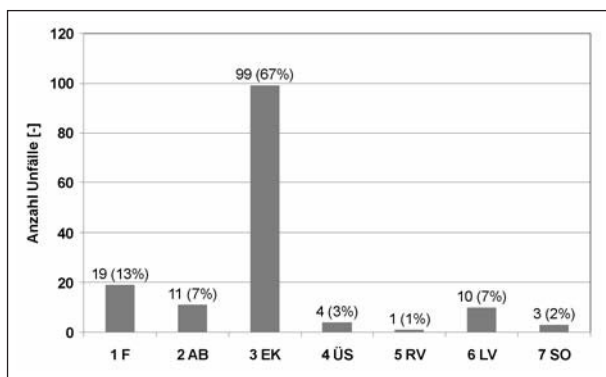


Bild 45: Unfälle nach Unfalltyp (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 147)

<sup>5</sup> Da Radfahrer an rund einem Fünftel aller Unfälle an Minikreisverkehren beteiligt sind, wird ein Vergleich mit der Verteilung der Unfallbeteiligten an innerörtlich gelegenen Kreuzungen/Einmündungen als sinnvoll erachtet. Diese Gegenüberstellung kann aber nicht umgesetzt werden, da die hierfür benötigten Daten nicht vorhanden sind.

### 4.3.4 Beteiligtenstruktur

Als Beteiligte an einem Straßenverkehrsunfall werden alle Fahrzeugführer oder Fußgänger erfasst, die selbst – oder deren Fahrzeug – Schäden erlitten oder hervorgerufen haben. Verunglückte Mitfahrer zählen somit nicht zu den Unfallbeteiligten.

Zur Charakterisierung der Beteiligtenstruktur werden motorisierte Zweiräder, Pkw, Linienbusse, Lkw mit und ohne Anhänger und die nicht motorisierten Verkehrsarten Fahrrad und Fußgänger unterschieden (Tabelle 8).

An den analysierten 147 Unfällen waren insgesamt 286 Fahrzeuge bzw. Personen beteiligt. 60 % davon entfallen auf den Pkw, 19 % auf das Fahrrad<sup>5</sup>, 4 % auf Fußgänger und 6 % auf Kleinkraftmäder. Die für die Einschätzung der Verkehrssicherheit besonders wichtigen nicht motorisierten Verkehrsteilnehmer machen somit 23 % der Unfallbeteiligten aus (Bild 46 und Bild 47).

Unfallbeteiligte	
1	Kleinkraftrad
2	Mofa
11	Kraftrad
12	Leichtkraftrad
15	Kraftroller
21	Pkw
33	Linienbus
41	Lkw ohne Anhänger
45	Lkw mit Anhänger
71	Fahrrad
81	Fußgänger

Tab. 8: Unfallbeteiligte nach Schlüsselnummer

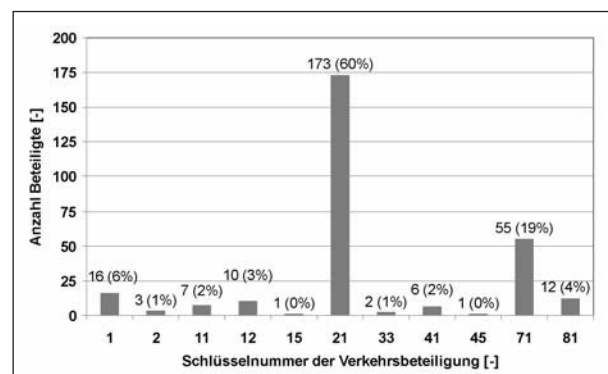


Bild 46: Unfallbeteiligte (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 286)

Die Betrachtung der Unfallbeteiligten nach Paarbildungen zeigt, dass Unfälle mit beteiligten Fahrrädern und Kfz 33 % ausmachen und Kfz untereinander 30 %. Deutlich weniger sind dann Unfälle zwischen motorisierten Zweirädern und Kfz, gefolgt von Unfällen zwischen Kfz und Fußgängern (Bild 48).

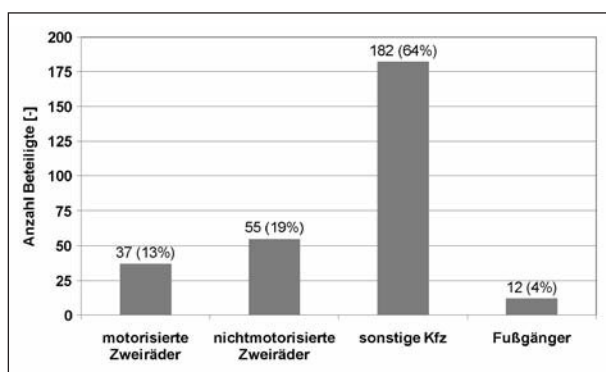
Die Betrachtung der Unfallbeteiligten für Unfälle der Kategorie 2 gibt auch unter Beachtung der geringen Fallzahlen einen ersten Hinweis auf die besondere Bedeutung von Unfällen zwischen nicht motorisierten Zweirädern, also Fahrradfahrern und sonstigen Kfz (Bild 49).

Bei der Betrachtung der Unfallkategorie 3 unter diesem Gesichtspunkt, die einen deutlich höheren Stichprobenumfang aufweist, wird diese Dominanz erneut sichtbar. 43 % aller Unfallbeteiligten sind in Unfällen zwischen Fahrrädern und Kfz zu verzeichnen, 24 % in Unfällen zwischen motorisierten Zweirädern und Kfz, 11 % Kfz untereinander und 8 % Kfz mit Fußgänger (Bild 50).

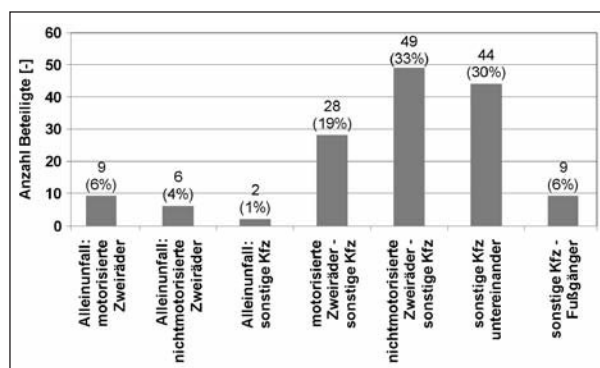
Bei der Betrachtung der Unfallkategorie 4, der schweren Sachschäden, ergibt sich eine Dominanz der Unfallbeteiligten mit jeweiligen Kfz (Bild 51).

Von den 36 Unfällen der Unfallkategorie 4 wurden 29 Unfälle aufgrund nicht mehr fahrbereiter Fahrzeuge dort eingeordnet. Bei 7 Unfällen ist dieser Sachverhalt aus den vorliegenden Unfalldaten nicht ersichtlich. Es ist davon auszugehen, dass auch diese Unfälle auf nicht mehr fahrbereite Fahrzeuge zurückzuführen sind und die Einstufung in Unfallkategorie 4 nicht aufgrund eines hohen Schadenwerts erfolgte.

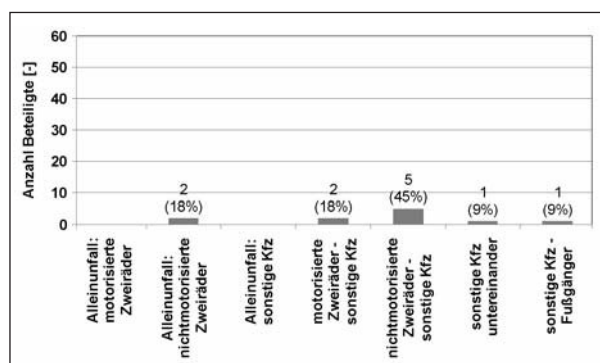
Die Betrachtung der Klassen von Unfallbeteiligten nach Lagetypen zeigt durchweg eine höhere Anzahl der Beteiligten an Knotenpunkten im Haupt-



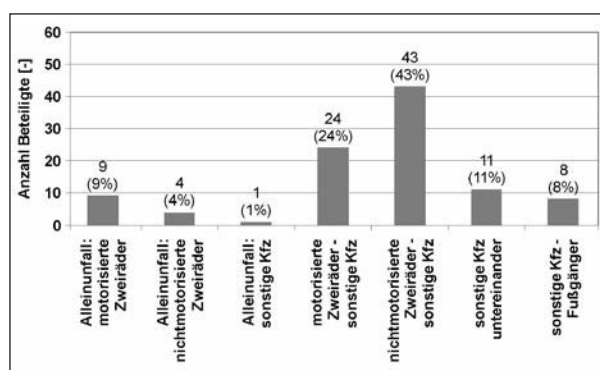
**Bild 47:** Unfallbeteiligte nach Klassen (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 286)



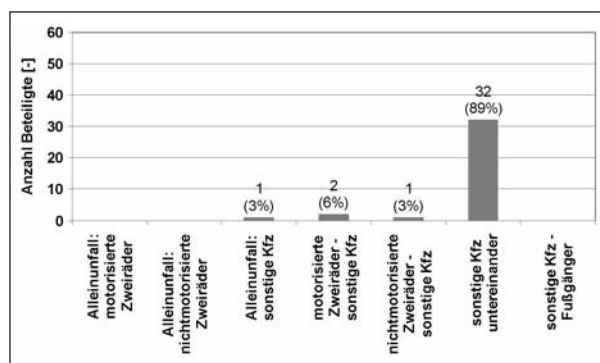
**Bild 48:** Unfallbeteiligte/„Unfallbeteiligtenpärchen“ nach Klassen (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 147)



**Bild 49:** Unfallbeteiligte nach Klassen (3 Jahre, Unfallkategorie 2) (n = 11)



**Bild 50:** Unfallbeteiligte nach Klassen (3 Jahre, Unfallkategorie 3) (n = 100)



**Bild 51:** Unfallbeteiligte nach Klassen (3 Jahre, Unfallkategorie 4) (n = 36)

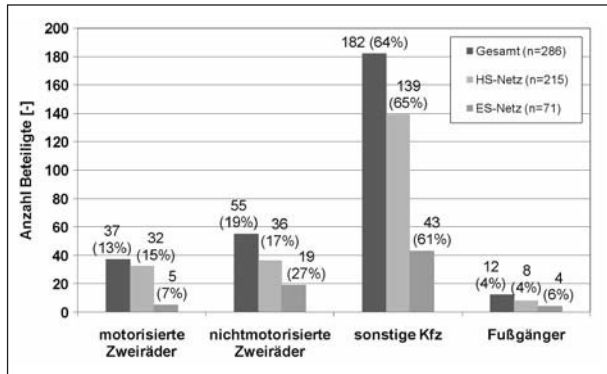


Bild 52: Unfallbeteiligte nach Klassen und Lage (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 286)

verkehrsstraßennetz gegenüber denen im reinen Erschließungsstraßennetz. Vergleicht man die relativen Häufigkeiten, so sind insbesondere im Erschließungsstraßennetz nichtmotorisierte Zweiräder beteiligt. Unfälle mit motorisierten Zweirädern ereignen sich hingegen eher im Hauptverkehrsstraßennetz (Bild 52).

### 4.3.5 Altersstruktur

Die Altersangabe der Unfallbeteiligten lag bei 83 Unfällen mit 164 Beteiligten der insgesamt 147 Unfälle mit 286 Beteiligten, also bei gut jedem zweiten Unfall, vor. Hierbei entspricht die Struktur der Unfallbeteiligten mit Altersangabe in etwa der Struktur der Unfallbeteiligten aller Unfälle (mit und ohne Altersangabe) (Bild 53).

Beim Vergleich verunglückter Radfahrer zu allen Unfallbeteiligten sind eher ältere (ab 60 Jahre) als jüngere Verkehrsteilnehmer (unter 40 Jahre) betroffen (Bild 54).

Unter Berücksichtigung des Radverkehrsaufkommens (Modal Split) nach Altersgruppen (Bild 55) und der Personenkilometer pro Tag nach Alter (Tabelle 9) lässt sich der fahrleistungsbezogene Anteil verunglückter Radfahrer nach Altersgruppen berechnen.

Mit ansteigendem Alter steigt ebenfalls die Wahrscheinlichkeit für Radfahrer, in einen Verkehrsunfall verwickelt zu werden (Bild 56).

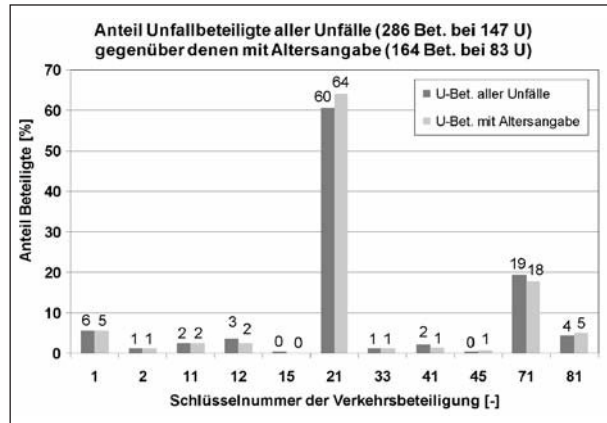


Bild 53: Unfallbeteiligte aller Unfälle gegenüber denen mit Altersangabe (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4)

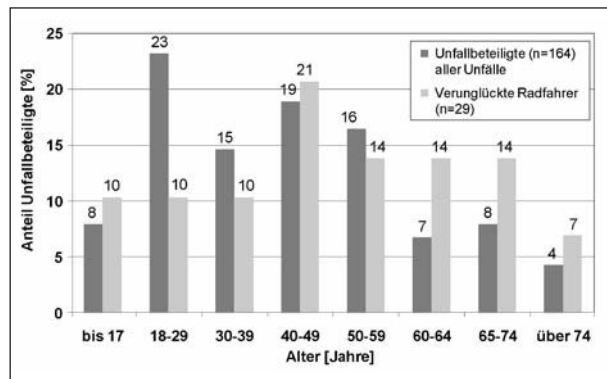


Bild 54: Anteil Unfallbeteiligter (n = 164) aller Unfälle gegenüber verunglückten Radfahrern (n = 29) nach Alter (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4)

Jahre	Personenkilometer		Anteil Altersgruppen an Gesamtbevölkerung
	Mio.	%	%
0-10 Jahre	210	7	10
11-13	65	2	3
14-17	110	3	4
18-29	564	18	14
30-39	588	18	14
40-49	688	21	17
50-59	468	15	13
60-64	153	5	5
65-74	261	8	11
75 und älter	107	3	8
Gesamt	3.214	100	100

Tab. 9: Personenkilometer pro Tag nach Alter und Bevölkerungsanteil der Altersgruppen (Quelle: Ergebnisbericht MiD 2008; infas, DLR)

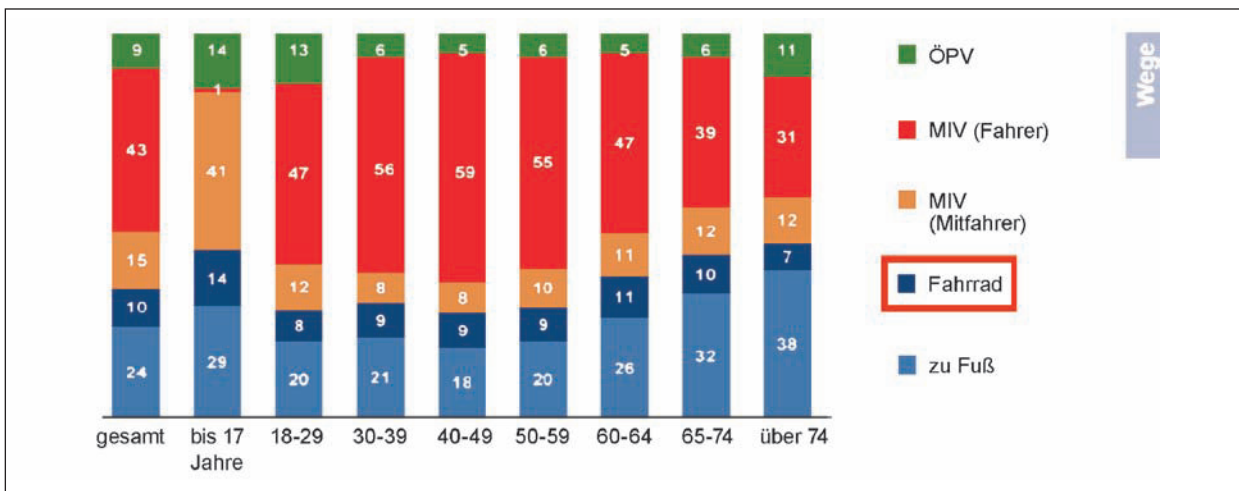


Bild 55: Modal Split (Verkehrsaufkommen) nach Altersgruppen in Prozent (Quelle: Ergebnisbericht MiD 2008; infas, DLR)

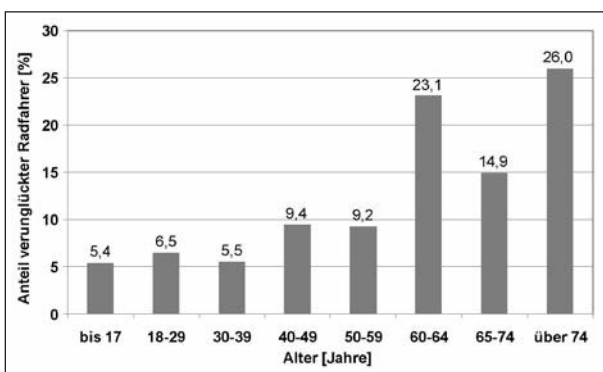


Bild 56: Fahrleistungsbezogener Anteil verunglückter Radfahrer nach Alter (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 29)

### 4.3.6 Unfallart

Die Unfallart beschreibt die Bewegungsrichtung der beteiligten Fahrzeuge beim ersten Zusammenstoß auf der Fahrbahn. Wenn es nicht zu einem Zusammenstoß gekommen ist, beschreibt die Unfallart die erste mechanische Einwirkung auf einen der Verkehrsteilnehmer. Es werden dabei 10 Unfallarten unterschieden (s. Tabelle 10).

Zur Analyse der Verteilung nach Unfallarten standen aus dem vorliegenden Unfalldatensatz 130 Unfälle zur Verfügung, da von 17 Unfällen die Unfallart nicht angegeben war.

Die Betrachtung der Unfallart zeigt das ähnlich klare Bild, das schon bei der Betrachtung von Unfalltypen deutlich wurde: Die dominierende Unfallart ist die Unfallart 5 „Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt“.

Die übrigen Unfälle verteilen sich relativ gleichmäßig in geringer Zahl auf die anderen Unfallarten,

Unfallart	
1	Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das anhält, anhält oder im ruhenden Verkehr steht
2	Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das vorausfährt oder wartet
3	Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das seitlich in gleicher Richtung fährt
4	Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das entgegenkommt
5	Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das einbiegt oder kreuzt
6	Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger
7	Aufprall auf ein Hindernis auf der Fahrbahn
8	Abkommen von der Fahrbahn nach rechts
9	Abkommen von der Fahrbahn nach links
10	Unfall anderer Art

Tab. 10: Unfallarten mit Schlüsselnummern

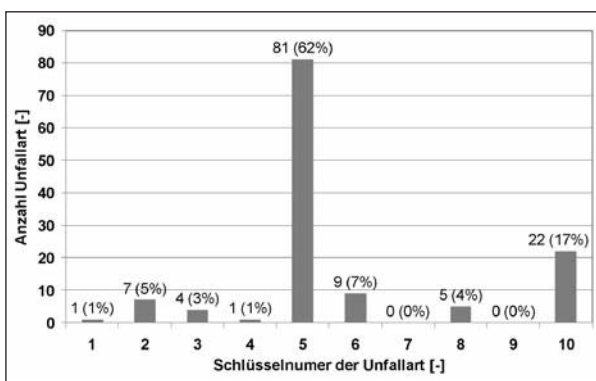


Bild 57: Verteilung nach Unfallart (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 130)

wobei mit 17 % die Angabe „Unfall anderer Art“ noch auffällt (Bild 57).

### 4.3.7 Unfallursachen

Die Unfallursachen werden bei der Unfallaufnahme vor Ort von dem Polizeibeamten vorläufig festgestellt. Dabei wird ein Beteiligter, der nach Einschät-

Ursachenbezeichnung	
1	Alkoholeinfluss
4	Sonstige körperliche oder geistige Mängel
10	Benutzung der falschen Fahrbahn (auch Richtungsfahrbahn) oder verbotswidrige Benutzung anderer Straßenteile
11	Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot
13	Nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen
14	Ungenügender Sicherheitsabstand
22	Sonstige Fehler beim Überholen
27	Nichtbeachten der Regel „rechts vor links“
28	Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen (§ 8)
35	Fehler beim Abbiegen (§ 9)
38	Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern an Fußgängerüberwegen
39	Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern an Fußgängerfurten
40	Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern beim Abbiegen
42	Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern an anderen Stellen
47	Überladung, Überbesetzung
49	Andere Fehler beim Fahrzeugführer
55	Technische Mängel, Wartungsmängel – andere Mängel
64	Falsches Verhalten der Fußgänger – falsches Verhalten beim Überschreiten der Fahrbahn ohne auf den Fahrzeugverkehr zu achten
71	Andere Verunreinigungen durch Straßenbenutzer
81	Sichtbehinderung durch: Starken Regen, Hagel, Schneegestöber usw.
82	Sichtbehinderung durch: Blendende Sonne

Tab. 11: Unfallursachenbezeichnungen mit Schlüsselnummern

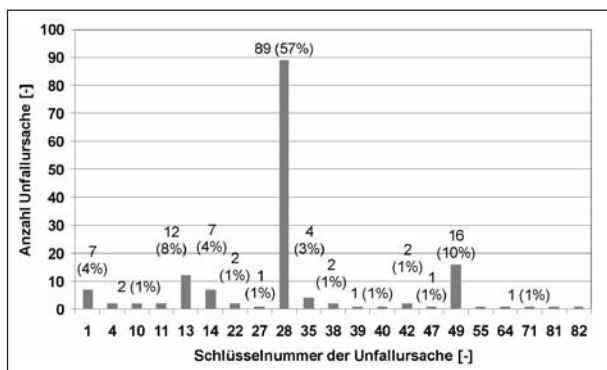


Bild 58: Verteilung nach Unfallursache (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 156)

zung der Polizeibeamten den Unfall durch sein Fehlverhalten maßgeblich ausgelöst hat, als Hauptunfallverursacher mit der Ordnungsnummer 01 bezeichnet, den weiteren Beteiligten können ebenfalls Unfallursachen zugewiesen werden.

Es werden gemäß dem seit 1975 gültigen Unfallursachenverzeichnis 89 Ursachen unterschieden, die folgenden Hauptgruppen zuzuordnen sind:

- Verkehrstüchtigkeit (Alkohol/Drogen, Übermüdung),
- Fehler der Fahrzeugführer (u. a. Geschwindigkeit, Abstand, Überholen, Vorbeifahren, Vorfahrt, Abbiegen, Wenden, Rückwärtsfahrt, ruhender Verkehr),
- Fahrzeugmängel,
- falsches Verhalten von Fußgängern,
- Straßenverhältnisse,
- Witterungsverhältnisse,
- Hindernisse sowie
- sonstige Ursachen.

In der Verkehrsunfallanzeige können je Unfall bis zu acht Unfallursachen angegeben werden: jeweils bis zu drei Ursachen beim ersten sowie einem weiteren Unfallbeteiligten und zusätzlich bis zu zwei allgemeine Unfallursachen.

Bei den insgesamt analysierten 147 Unfällen an den Minikreisverkehren wurden 21 verschiedene Ursachen aufgeführt (s. Tabelle 11).

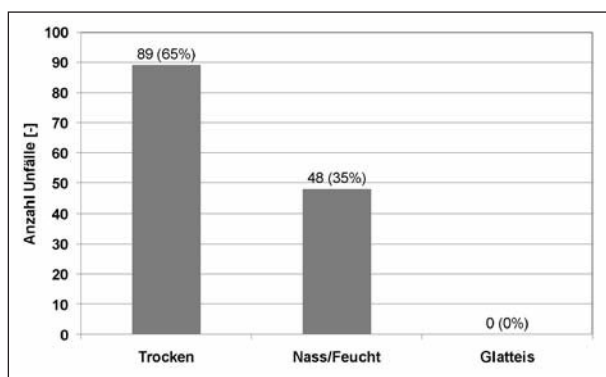
Die Betrachtung der Verteilung der Unfallursachen zeigt erneut in Übereinstimmung mit der Unfalltypenverteilung und der Verteilung der Unfallart mit 57 % eine deutliche Dominanz der Ursache 28 „Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen“. Die Ursache 49 „Andere Fehler beim Fahrzeugführer“ und 13 „Nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen“ folgen mit weit geringerer Bedeutung (Bild 58).

### 4.3.8 Straßenzustand und Lichtverhältnisse

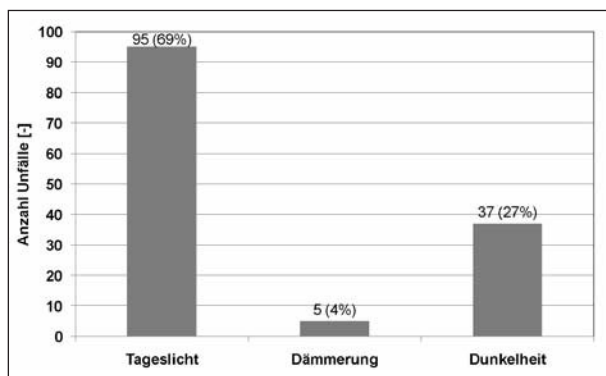
Ein deutlicher Einfluss auf besondere Umstände wie nasse oder feuchte Fahrbahn oder Glatteis oder von Dunkelheit und Dämmerung auf das Unfallgeschehen an Minikreisverkehren lässt sich aus den analysierten 137 Unfallanzeigen, die Angaben zu diesen Unfallumständen enthalten haben, nicht ableiten. Etwa ein Drittel (35 %) der Unfälle ist bei

nassen oder feuchten Straßenoberflächen geschehen, 27 % bei Dunkelheit und 4 % in der Dämmerung (Bild 59 und Bild 60).

Im Vergleich zu der Verteilung der in Nordrhein-Westfalen geschehenen Unfälle an innerörtlichen Einmündungen, Kreuzungen und Kreisverkehren allgemein liegen die Ergebnisse in den gleichen Größenordnungen. Eine Differenzierung nach Glatteis und Dämmerung fand nicht statt (s. Tabelle 12).



**Bild 59:** Verteilung der Unfälle nach Straßenzustand (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (n = 137)



**Bild 60:** Verteilung der Unfälle nach Lichtverhältnissen (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4), (n = 137)

Knotenpunktart	Straßenzustand		Lichtverhältnisse	
	Trocken	Nass	Tageslicht	Dunkelheit
Einmündungen	68 %	32 %	74 %	26 %
Kreuzungen	66 %	34 %	70 %	30 %
Kreisverkehre	66 %	34 %	70 %	30 %

**Tab. 12:** Verteilung innerörtlicher Unfälle nach Straßenzustand und Lichtverhältnissen an Einmündungen, Kreuzungen und Kreisverkehren (Quelle: Unfallforschung der Versicherer, statistische Auswertung der polizeilich erfassten Unfälle der Kategorien 1-4 der Jahre 2004-2008, LZDP NRW)

## 4.4 Bewertung der Verkehrssicherheit

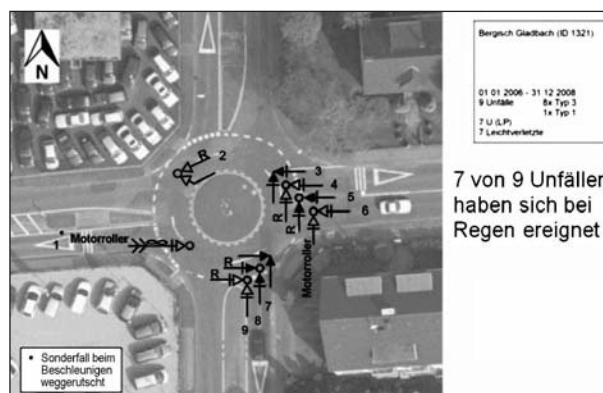
### 4.4.1 Unfallzahlen

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

- Fast die Hälfte der untersuchten Minikreisverkehre weist keine Unfälle auf.
- 4-armige Minikreisverkehre weisen ein höheres Unfallgeschehen auf als 3-armige.
- Unfälle mit schwerem Personenschaden kommen kaum vor, es dominieren leichte Personenschäden.
- Der vorherrschende Unfalltyp sind Einbiegen/Kreuzen-Unfälle.
- Bei Unfällen mit Personenschaden sind vor allem Fahrräder und Kfz, bei Unfällen mit schwerem Sachschaden überwiegend Kfz untereinander beteiligt.
- Ein deutlicher Einfluss besonderer Umstände lässt sich über alle Unfälle nicht ableiten.

Die Detailanalyse der 10 unfallträchtigsten Minikreisverkehre zeigt jedoch, dass jeder zweite Unfall bei Nässe geschieht (Bild 61) und an etwa jedem dritten Unfall Radfahrer beteiligt waren. An knapp 2 von 3 Unfällen waren Zweiräder (motorisierte und nichtmotorisierte) beteiligt (Tabelle 13).

Bezogen auf die Unfälle bei nassem Straßenzustand liegt die Vermutung nahe, dass es sich wegen der insgesamt geringen Verletzungsschwere weniger um das Wegrutschen der Fahrzeuge handelt als um die Einschränkung der Sicht aus dem Kraftfahrzeug bei Regen (Bild 62).



**Bild 61:** Beispiel eines Unfalldiagramms (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4)

Unfälle 1.1.2006 - 31.12.2008, Kat. 1-4								Ursache			Anzahl Beteiligte u. Personenschäden				Straßenzustand			Lichtverhältnisse			Art der Verk.-Bet.		
K-ID	Datum	Uhrzeit	WT	VU-Kat.	VU-Typ	VU-Typ 3-stellig	Unfall-art	Bet./1	Bet./2	Allg./1	Bet.	V <sub>GT</sub>	V <sub>SV</sub>	V <sub>LV</sub>	trocken 0	nass 1	glatt 2	Tageslicht 0	Dämmerung 1	Dunkelheit 2	Bet 01	Bet 02	Bet 03
1005	30.10.2006	13:35	Mo	4	3	303	5	28	13		2				1			1			21	21	
1005	25.07.2007	18:10	Mi	3	3	301	5	28			2	1	1					1			21	71	
1005	10.09.2007	15:40	Mo	4	3	303	5	28			2				1			1			21	21	
1005	13.11.2007	07:50	Di	3	3	321	5	28			2	1			1				1		41	71	
1005	06.06.2008	12:00	Fr	3	3	303	5	28			2	1	1					1			41	11	
1020	24.03.2006	18:30	Fr	3	2		6	49			2	1	1					1			21	81	
1020	05.08.2006	18:20	Sa	3	2		0	49			2	1	1					1			21	71	
1020	09.11.2006	06:50	Do	4	3		5	28			2				1				1		21	21	
1020	22.09.2007	08:57	Sa	3	3		5	28			2	1	1					1			21	71	
1020	22.02.2008	07:05	Fr	3	6		2	14			3		3		1					1	21	21	21
1020	25.04.2008	21:05	Fr	3	6		2	14			2		2	1					1		21	1	
1041	13.01.2007	18:45	Sa	3	1			1	49		1	1	1							1	1		
1041	20.05.2007	01:00	So	4	3			28			2				1					1	21	21	
1041	30.07.2008	11:10	Mi	2	3			28			2		1		1			1			21	12	
1041	21.08.2008	11:28	Do	3	3			28			2		1	1				1			21	71	
1041	20.10.2008	11:30	Mo	3	7			49			1	1	1					1			12		
1041	17.11.2008	13:25	Mo	3	3			28			2		1	1				1			21	12	
1153	27.04.2006	18:20	Do	3	6		1				3		1	1				1			21	21	21
1153	11.08.2006	13:45	Fr	3	3		5				2				1			1			21	1	
1153	05.01.2007	07:40	Fr	2	3		5	28			2	1	1	1						1	12	21	
1153	16.05.2007	07:30	Mi	4	3		5	28			2				1			1			21	21	
1153	17.10.2007	07:50	Mi	3	3		5	28			2	1	1					1			15	21	
1153	10.12.2008	17:35	Mi	3	3		5				2		1	1						1	21	11	
1230	30.08.2006	10:00	Mi	3	3	303	5	28			2		1	1				1			21	71	
1230	05.06.2008	07:20	Do	4	3	303	5	28			2				1			1			21	21	
1230	08.07.2008	14:00	Di	3	3	301	0	28			2		1	1				1			21	12	
1230	05.12.2008	09:45	Fr	3	3	303	5	28			2		1					1			21	71	
1282	08.12.2006	12:05	Fr	2	3	302	0	28			2		1					1			21	71	
1282	04.03.2007	08:45	Di	3	3	303	5	28			2		1					1			21	71	
1282	24.07.2007	16:20	Di	4	3	301	5	28			2			1				1			21	21	
1282	24.08.2007	13:12	Fr	3	3	303	5	28			2		2	1				1			41	1	
1282	22.09.2007	15:30	Sa	3	2	299	0	13			1		1					1			71		
1289	25.01.2007	09:15	Do	4	3	301	5	28			2				1			1			21	21	
1289	10.11.2007	22:41	Sa	4	3	301	5	28	13		2				1					1	21	21	
1289	17.03.2008	05:50	Mo	4	3	303	5	28			2			1					1		21	21	
1289	06.06.2008	11:29	Fr	3	6	601	5	28			2		1	1				1			21	71	
1315	07.07.2007	14:31	Sa	3	3	301	5	28			2		1					1			41	71	
1315	21.10.2007	18:33	So	3	3	301	5	28			2		1							1	21	71	
1315	27.05.2008	19:40	Di	4	5		8	1	49		3			1				1			21	21	21
1315	20.12.2008	18:00	Sa	3	2	242	6	38	81		3		2		1					1	21	81	81
1321	11.01.2006	21:40	Mi	3	3	303	5	28			2		1							1	21	71	
1321	29.04.2006	17:15	Sa	3	3	303	5	28			2		1					1			21	71	
1321	20.08.2006	00:05	So	4	3	303	5	28			2		1							1	21	21	
1321	19.06.2007	19:18	Di	3	3	303	5	28			2		1	1				1			71	21	
1321	02.11.2007	07:20	Fr	3	1	101	0	13			1		1					1			1		
1321	06.11.2007	09:10	Di	3	3	301	5	28			2		1					1			21	71	
1321	06.09.2008	01:03	Sa	4	3	301	0	1	13	28	2				1					1	21	21	
1321	03.11.2008	06:58	Mo	3	3	301	5	28			2		1							1	21	71	
1321	10.11.2008	13:45	Mo	3	3	301	5	28			2		1					1			21	1	
2011	25.04.2006	07:00	Di	2	6		3	14			2		1	1				1			21	71	
2011	05.05.2006	13:45	Fr	3	2		3	35			2		1	1				1			21	71	
2011	01.06.2006	13:35	Do	3	1		0	13			2		1					1			11	21	
2011	18.01.2007	08:05	Do	4	3		5	28			2				1			1			21	21	
2011	21.03.2007	07:20	Mi	3	6		2	14			2		1					1			21	21	
2011	10.05.2007	06:35	Do	3	3		5	28			2		1					1			21	71	
2011	02.07.2007	23:00	Mo	3	1		6	1			2			1						1	21	81	

Tab. 13: Unfalldatenliste der 10 unfallträchtigsten Minikreisverkehre (Nässe = schwarz hinterlegt, Radfahrer = hellgrau markiert, motorisierte Zweiräder = dunkelgrau markiert) (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4)

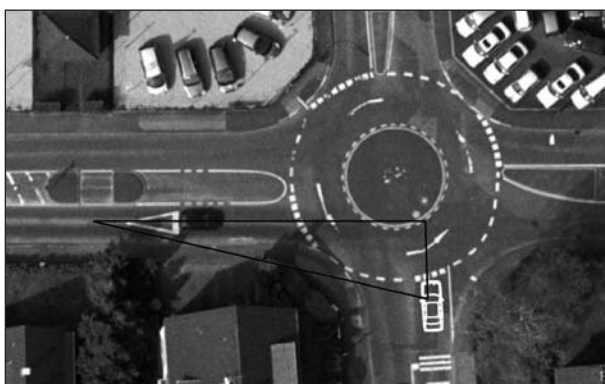
Zweiradfahrer sind bei Regen besonders schlecht zu erkennen, auf der Frontscheibe ergibt sich eine „verbreiterte A-Säule“ und gleichzeitig erreichen die Zweiradfahrer wegen der kurzen Distanzen in Minikreisverkehren relativ schnell den Konfliktpunkt.

Bei Unfällen mit Radverkehrsbeteiligung (insgesamt 21 Unfälle) ergeben sich folgende Unfallhergänge:

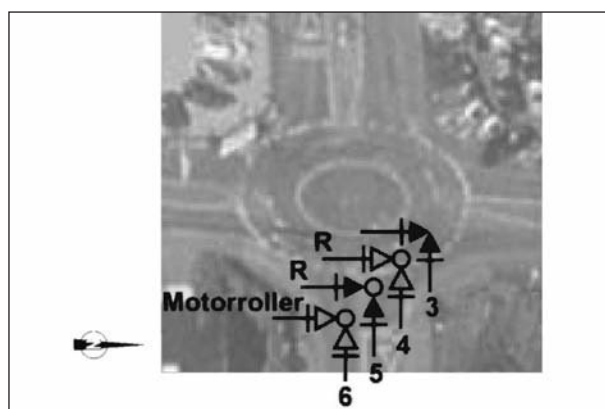
- Radfahrer auf Kreisfahrbahn, Kfz fährt ein (14 Unfälle):
  - übersehen/zu spät gesehen (11 Unfälle),
  - abgelenkt/geblendet (3 Unfälle).
- Radfahrer auf Kreisfahrbahn, Pkw fährt aus (3 Unfälle):
  - Radfahrer übersehen (2 Unfälle).



**Bild 62:** Eingeschränkte Sicht bei Regen



**Bild 63:** Sichtdreieck des Minikreisverkehrs in Bergisch Gladbach, Fahrzeug aus östlicher Zufahrt kommend (frei zuhaltende Anfahrtsicht nach RASSt bei  $v = 30$  km/h und Schenkellänge des Sichtdreiecks von 30 m)



**Bild 65:** Unfalldiagramm für die östliche Knotenpunktzufahrt des Minikreisverkehrs in Bergisch Gladbach (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4)



**Bild 64:** Blickrichtung aus östlicher Zufahrt in die links liegende Kreisverkehrszufahrt

- Radfahrer und Pkw auf Kreisfahrbahn (2 Unfälle):
  - Überholen/Auffahren (2 Unfälle).
- Sonstige (2 Unfälle).

Bei Unfällen mit Beteiligung motorisierter Zweiräder (insgesamt 15 Unfälle) ergeben sich folgende Unfallhergänge:

- Motorisiertes Zweirad auf Kreisfahrbahn, Kfz fährt ein (8 Unfälle):
  - Übersehen/zu spät gesehen (2 Unfälle).
- Alleinunfall motorisiertes Zweirad (3 Unfälle).
- Pkw auf Kreisfahrbahn, motorisiertes Zweirad fährt ein (2 Unfälle):
  - Einfahren mit verminderter Geschwindigkeit (1 Unfall),
  - motorisiertes Zweirad über Kreisinsel gefahren (von links; 1 Unfall).
- Motorisiertes Zweirad und Pkw in Zufahrt (1 Unfall):
  - Pkw aufgefahren (1 Unfall).
- Sonstige (1 Unfall).

Darüber hinaus ist auch ein Einfluss der geometrischen Sichtverhältnisse erkennbar (Bilder 63 und 64), der allerdings im Rahmen dieses Projektes nur



exemplarisch an einem Minikreisverkehr untersucht werden konnte.

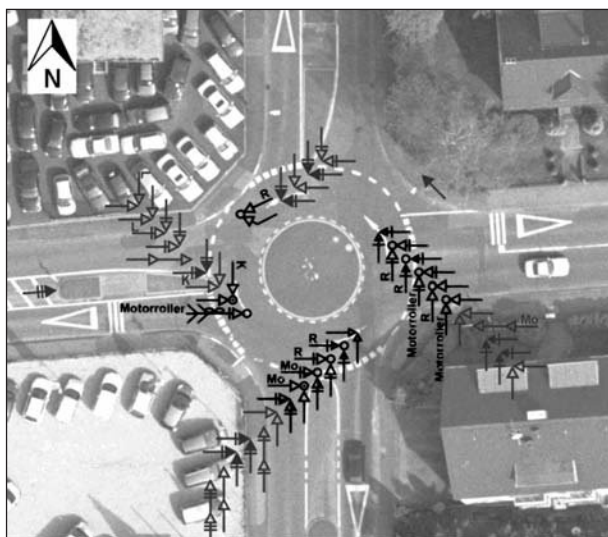
#### 4.4.2 Detailbetrachtung eines Minikreisverkehrs

Im Rahmen einer von der Stadt Bergisch Gladbach beauftragten Verkehrsuntersuchung (BAIER/KLEMP-S-KOHNEN, 2011) zur Überprüfung der Verkehrssicherheit an einem Minikreisverkehr mit 9 Unfällen in 3 Jahren war es möglich, weitere Erkenntnisse zum Unfallgeschehen zu erlangen.

Neben dem 3-jährigen Unfallgeschehen der Jahre 2006 bis 2008 der Unfallkategorien 1-4 lagen auch Unfalldaten der Jahre 2009 und 2010 sowie der Unfallkategorie 5 vor. In diesem 5-jährigen Zeitraum passierten an diesem Minikreisverkehr insgesamt 39 Unfälle, 15 Unfälle der Unfallkategorien 1-4 und 24 Unfälle der Unfallkategorie 5.

20 der insgesamt 39 Unfälle sind bei nassem Straßenzustand geschehen. 31 Unfälle sind dem Unfalltyp „Einbiegen/Kreuzen“ (Typ 3) zuzuordnen, 4 Unfälle dem Unfalltyp „Sonstiger Unfall“ (Typ 6), 3 Unfälle dem Unfalltyp „Fahrerunfall“ (Typ 1) und 1 Unfall dem Unfalltyp „Abbiegen“ (Typ 2) (Bild 66).

Von den 15 Unfällen (Kategorie 1-4) waren 10 Unfälle mit einem Leichtverletzten und 2 Unfälle mit jeweils einem Schwerverletzten. 12 dieser 15 Unfälle waren mit Zweiradbeteiligung, bei denen auch 12 Verkehrsteilnehmer verletzt wurden. Da bei diesen Unfällen nur 2 Verkehrsteilnehmer schwer verletzt



**Bild 66:** Unfalldiagramm aller Unfälle aus 5 Jahren (Unfallkategorie 1-4 = schwarz markiert, Unfallkategorie 5 = grau markiert) (BAIER/KLEMP-S-KOHNEN, 2011)

wurden, ist davon auszugehen, dass die Geschwindigkeiten an diesem Kreisverkehr nicht zu hoch sind.

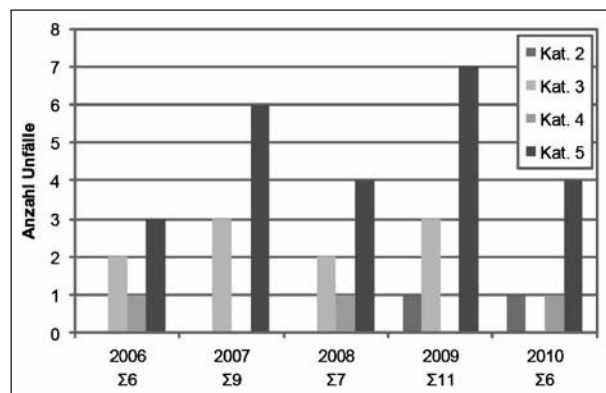
Dass die eigentliche Unfallursache an Minikreisverkehren nicht auf die gefahrenen Geschwindigkeiten zurückzuführen ist, wird zudem durch Geschwindigkeitsmessungen bestärkt, die im Rahmen der Verkehrsablaufsuntersuchungen an 10 anderen hoch belasteten Minikreisverkehren durchgeführt wurden (siehe hierzu auch Kapitel 5.1.1). In den jeweiligen Kreisverkehrszufahrten der 10 untersuchten Minikreisverkehre konnten mittlere Geschwindigkeiten zwischen 16 und 28 km/h ermittelt werden (für ohne Halt in die Kreisfahrbahn einführende Fahrzeuge; der Messbereich umfasste die letzten 12 m vor der Wartelinie). An dem hier betrachteten Minikreisverkehr wurden jedoch keine Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt.

Die Unfallentwicklung (Bild 67) zeigt, dass die Unfälle mit Schwerverletzten in den letzten beiden Jahren aufgetreten sind. Eine kontinuierliche Zunahme der Unfallanzahl über die 5 Jahre zeigt sich aber nicht.

Mittels Videobeobachtungen wurden von 2 Standorten (Bild 68 und Bild 69) aus Konfliktanalysen durchgeführt.

Die Beobachtungszeiträume von 6:00 Uhr bis 9:00 Uhr und von 17:00 Uhr bis 20:00 Uhr wurden aufgrund der Unfallanalyse festgelegt. In diesen Zeiträumen geschahen

- 18 der 39 Unfälle (46 %),
- 13 der 20 Unfälle bei Nässe (65 %),
- 7 der 12 Unfälle mit Personenschaden (58 %),



**Bild 67:** Unfallentwicklung (5 Jahre, Unfallkategorien 1-5) (BAIER/KLEMP-S-KOHNEN, 2011)

- 5 der 6 Unfälle mit Radfahrerbeteiligung (83 %) und
- 8 der 14 Unfälle mit Zweiradbeteiligung (57 %).

Bei der Auswertung wurde eine Situation als „Konflikt“ definiert, wenn ein Verkehrsteilnehmer aufgrund des Verhaltens eines anderen Verkehrsteilnehmers beim Befahren der Kreisfahrbahn bremsen oder seine Fahrt verzögern musste.

Insgesamt wurden in den Beobachtungszeiträumen beim Durchfahren der Kreisfahrbahn 130 Zweiradfahrer erfasst. Bei diesen 130 Situationen traten jedoch keine Konflikte auf. Im Kfz-Verkehr wurden 25 Konflikte registriert.

Mit Abstand die meisten Konflikte traten in der östlichen Zufahrt auf. Hier wurden 19 der 25 Konflikte festgestellt. In einem nächsten Schritt wurde die Anzahl der Konflikte auf die „Konfliktverkehrsstärke“ der jeweiligen Zufahrt bezogen. Die Konfliktverkehrsstärke entspricht dabei der Summe der zufahrenden Fahrzeuge und der auf der Kreisfahrbahn fahrenden Fahrzeuge innerhalb der betrachteten 6 Stunden aus der Videobeobachtung (Bild 70).



**Bild 68:** Videobeobachtung Standort 1, Blickrichtung aus südlicher Kreisverkehrszufahrt (BAIER/KLEMPSKOHNEN, 2011)



**Bild 69:** Videobeobachtung Standort 2, Blickrichtung aus westlicher Kreisverkehrszufahrt (BAIER/KLEMPSKOHNEN, 2011)

Diese Betrachtung zeigt, dass auf eine Konfliktverkehrsstärke von 1.000 Fahrzeugen bezogen

- in der östlichen Zufahrt 7,0 Konflikte,
- in der westlichen Zufahrt 1,2 Konflikte,
- in der südlichen Zufahrt 0,8 Konflikte und
- in der nördlichen Zufahrt 0,4 Konflikte

registriert wurden.

Als typische Konflikte wurden beobachtet, dass ein Verkehrsteilnehmer aus dem Stand in die Kreisfahrbahn einfährt und einen bereits auf der Kreisfahrbahn Fahrenden behindert oder in die Kreisfahrbahn einfährt, ohne zu halten, und einen bereits auf der Kreisfahrbahn Fahrenden behindert. Für dieses Verhalten wurden verschiedene Ursachen beobachtet:

- Ein Verkehrsteilnehmer fährt aus dem Stand in die Kreisfahrbahn ein,
  - weil er das vorrangige Fahrzeug aufgrund der Sichtverhältnisse nicht gesehen hat,
  - weil vor diesem ein anderes Fahrzeug abbiegt und er das vorrangige Fahrzeug möglicherweise nicht gesehen hat oder unterstellt, es würde auch abbiegen,
  - weil er ungeduldig ist und meint, lange genug gewartet zu haben, und davon ausgeht, dass der andere bremsen wird.



**Bild 70:** Verteilung der erfassten Konflikte auf die Zufahrten und zugehörige Konfliktverkehrsstärken (Fahrzeuge/6 h) (BAIER/KLEMPSKOHNEN, 2011)

- Ein Verkehrsteilnehmer fährt in die Kreisfahrbahn ein, ohne zu halten,
  - weil er den anderen Verkehrsteilnehmer nicht gesehen hat,
  - weil er glaubt, vor diesem in der Kreisfahrbahn zu sein und selber damit Vorrang zu haben,
  - aus unerklärlichen Gründen.

Die Strukturen der beobachteten Konflikte entsprechen der Unfalltypenstruktur. Hier geschehen in den 5 Jahren 31 der 39 Unfälle beim Einbiegen/Kreuzen mit einem bevorrechtigten Fahrzeug von links.

#### 4.4.3 Kennwerte der Verkehrssicherheit

Bisher wurde das Unfallgeschehen über die Unfallzahlen analysiert. In der weiteren Bearbeitung wird das Unfallgeschehen über Unfallkennwerte bewertet.

Die geeigneten Kennwerte zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Knotenpunkten im Vorher-/Nachher-Vergleich bzw. im Vergleich untereinander sind die Unfallkostendichte ( $UKD_K$  in 1.000 €/a) bzw. die Unfallkostenrate ( $UKR_K$  in €/1.000 Kfz).

Um geeignete Kennwerte für Netzelemente ableiten zu können, ist die Anzahl der betrachteten Elemente von großer Bedeutung. Hier ist zunächst die Frage zu beantworten, wie viele Elemente ein Untersuchungskollektiv beinhalten muss, um eine gesicherte Aussage zu dem entsprechenden Kennwert treffen zu können. Gerade bei einer gewichteten Kenngröße wie den Unfallkosten, Unfallkostenraten, Unfallkostendichten und letztendlich den Grundunfallkostenraten existieren bisher keine statistischen Test, mit denen die Aussagen zu diesen Kennwerten als statistisch gesichert zu bezeichnen sind.

Für die Berechnung der Unfallkosten wurden pauschale Unfallkostensätze in Abhängigkeit von Unfallkategorie (differenziert nach schwerem und leichtem Personenschaden sowie schwerwiegendem Sachschaden i. e. S.) und Straßenkategorie verwendet. Diese Möglichkeit hat sich gegenüber der Berechnung mit pauschalen Unfallkostensätzen für Unfälle mit Personenschaden (ohne weitere Differenzierung nach der Unfallschwere) als geeigneter herausgestellt.

Eine Berechnung mit angepassten Unfallkostensätzen konnte nicht durchgeführt werden, da die not-

Straßenkategorie	KS <sub>U(SP)</sub>	KS <sub>U(LP)</sub>	KS <sub>U(SS)</sub>
Hauptverkehrsstraße (HS)	150.000 €	12.500 €	11.500 €
Erschließungsstraße (ES)	125.000 €	10.000 €	11.000 €
Stadtstraßen gesamt (OE und HS/ES)	135.000 €	11.000 €	11.000 €

Tab. 14: Pauschale Unfallkostensätze in Abhängigkeit von Unfallkategorie und Straßenkategorie zum Preisstand 2005 nach BAIER et al. (2010)

wendige Anzahl von Unfällen mit Personenschaden  $U(P) \geq 400$  innerorts nicht vorlag und das Unfallkollektiv nicht entsprechend erweitert werden konnte.

Die Berechnung der knotenpunktbezogenen Unfallkosten  $UK_{K,i}$  und der daraus abgeleiteten Kennwerte, die mittlere Unfallkostendichte  $UKD_{K,M}$  und Unfallkostenrate  $UKR_{K,M}$ , basieren auf den nachfolgenden Unfallkostensätzen zum Preisstand 2005, die von BAIER et al., (2010) ermittelt wurden (Tabelle 14).<sup>6</sup>

Mit diesen Unfallkostensätzen werden für jeden einzelnen Knotenpunkt die jährlichen Unfallkosten  $UK_{K,i,a}$  für die Unfälle der Kategorien 1-4 berechnet. Diese ergeben sich aus Gleichung 1:

$$UK_{K,i,a} = \frac{UK_{K,i}}{t_{K,i}} \text{ [€/a]} \quad \text{Gl. 1}$$

mit

$UK_{K,i,a}$  jährliche Unfallkosten am Knotenpunkt i [€/a]

$UK_{K,i}$  Unfallkosten am Knotenpunkt i im Untersuchungszeitraum  $t_{K,i}$  [€]

$t_{K,i}$  Untersuchungszeitraum, d. h. Anzahl der betrachteten Jahre am Knotenpunkt i [a]

mit Gleichung 2:

$$UK_{K,i} = UK_{K,i,U(P)} + UK_{K,i,U(SS)} \text{ [€]} \quad \text{Gl. 2}$$

<sup>6</sup> Im Zusammenhang mit der Erarbeitung des neuen HVS (siehe auch BARK et al., 2008) werden u. a. die bisherigen Begriffe des Merkblatts für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen (Ausgabe 2003) beibehalten, jedoch davon abweichende Bezeichnungen, vor allem auch Abkürzungen, verwendet (siehe hierzu auch „Abkürzungen“, S. 7).

mit

$UK_{K,i}$  Unfallkosten am Knotenpunkt  $i$  im Untersuchungszeitraum  $t_{K,i}$  [€]

$UK_{K,i,U(P)}$  Unfallkosten für  $U(P)$  am Knotenpunkt  $i$  im Untersuchungszeitraum  $t_{K,i}$  [€]

$UK_{K,i,U(SS)}$  Unfallkosten für  $U(SS)$  am Knotenpunkt  $i$  im Untersuchungszeitraum  $t_{K,i}$  [€]

und Gleichung 3

$$UK_{K,i,U(P)} = n_{U(SP)} \cdot KS_{U(SP)} + n_{U(LP)} \cdot KS_{U(LP)} \quad \text{[€]} \quad \text{Gl. 3}$$

mit

$UK_{K,i,U(P)}$  Unfallkosten für  $U(P)$  am Knotenpunkt  $i$  im Untersuchungszeitraum  $t_{K,i}$  [€]

$n_{U(SP)}$  Anzahl der Unfälle mit schwerem Personenschaden [ $U(SP)$ ]

$KS_{U(SP)}$  (pauschaler) Unfallkostensatz für  $U(SP)$  [€/U(SP)]

$n_{U(LP)}$  Anzahl der Unfälle mit Leichtverletzten [ $U(LP)$ ]

$KS_{U(LP)}$  (pauschaler) Unfallkostensatz für  $U(LP)$  [€/U(LP)]

sowie Gleichung 4

$$UK_{K,i,U(SS)} = n_{U(SS)} \cdot KS_{U(SS)} \quad \text{[€]} \quad \text{Gl. 4}$$

mit

$UK_{K,i,U(SS)}$  Unfallkosten für  $U(SS)$  am Knotenpunkt  $i$  im Untersuchungszeitraum  $t_{K,i}$  [€]

$n_{U(SS)}$  Anzahl der Unfälle mit schwerwiegendem Sachschaden i. e. S. [ $U(SS)$ ]

$KS_{U(SS)}$  (pauschaler) Unfallkostensatz für  $U(SS)$  [€/U(SS)]

Darauf aufbauend kann nun die Unfallkostendichte  $UKD_{K,i}$  eines Knotenpunkts berechnet werden, die die volkswirtschaftlichen Kosten (in 1.000 €/a) durch Unfälle, die an einem Knotenpunkt pro Jahr entstanden sind, beziffert. Sie ergibt sich nach Gleichung 5 zu

$$UKD_{K,i,a} = \frac{UK_{K,i,a}}{1.000} \quad \text{[1.000 €/a]} \quad \text{Gl. 5}$$

mit

$UKD_{K,i,a}$  (jährliche) Unfallkostendichte des Knotenpunkts  $i$  [1.000 €/a]

$UK_{K,i,a}$  jährliche Unfallkosten am Knotenpunkt  $i$  [€/a]

Die mittlere  $UKD_{K,M}$  aller Knotenpunkte bzw. eines Teilkollektivs ausgewählter Knotenpunkte lässt sich nach Gleichung 6 zu

$$UKD_{K,M} = \frac{\sum_{i=1}^n (UKD_{K,i,a} \cdot t_{K,i})}{\sum_{i=1}^n t_{K,i}} \quad \text{[1.000 €/a]} \quad \text{Gl. 6}$$

mit

$UKD_{K,M}$  mittlere Unfallkostendichte aller betrachteten Knotenpunkte [1.000 €/a]

$UKD_{K,i,a}$  Unfallkostendichte des Knotenpunkts  $i$  im Untersuchungszeitraum  $t_{K,i}$  [1.000 €/a]

$t_{K,i}$  Untersuchungszeitraum, d. h. Anzahl der betrachteten Jahre am Knotenpunkt  $i$  [a]

ermitteln.

Der auf die Fahrleistung bezogene Kennwert wird über die Unfallkostenrate  $UKR_{K,i}$  definiert. Sie beziffert die durchschnittlich volkswirtschaftlichen Kosten durch Unfälle an einem Knotenpunkt, bezogen auf 1.000 Kfz-Überfahrten. Die  $UKR_{K,i,a}$  berechnet sich nach Gleichung 7 zu

$$UKR_{K,i,a} = \frac{1.000 \cdot UK_{K,i,a}}{365 \cdot DTV_{K,i}} \quad \text{[€/(1.000 Kfz)]} \quad \text{Gl. 7}$$

mit

$UKR_{K,i,a}$  (jährliche) Unfallkostenrate des Knotenpunkts  $i$  [€/(1.000 Kfz)]

$UK_{K,i,a}$  jährliche Unfallkosten am Knotenpunkt  $i$  [€/a]

365 Tage pro Jahr [d/a]

$DTV_{K,i}$  durchschnittliche tägliche Anzahl der Knotenpunktüberfahrten am Knotenpunkt  $i$  im Untersuchungszeitraum  $t_{K,i}$  [Kfz/d]

Die mittlere  $UKR_{K,M}$  aller Knotenpunkte bzw. eines Teilkollektivs ausgewählter Knotenpunkte lässt sich nach Gleichung 8 zu

$$UKR_{K,M} = \frac{\sum_{i=1}^n (UKR_{K,i,a} \cdot DTV_{K,i} \cdot t_{K,i})}{\sum_{i=1}^n (DTV_{K,i} \cdot t_{K,i})} \quad \text{[€/(1.000 Kfz)]} \quad \text{Gl. 8}$$

mit

$UKR_{K,M}$  mittlere Unfallkostenrate aller betrachteten Knotenpunkte [€/ (1.000 Kfz)]

$UKR_{K,i,a}$  (jährliche) Unfallkostenrate des Knotenpunkts  $i$  [€/ (1.000 Kfz)]

$t_{K,i}$  Untersuchungszeitraum, d. h. Anzahl der betrachteten Jahre am Knotenpunkt  $i$  [a]

$DTV_{K,i}$  durchschnittliche tägliche Anzahl der Knotenpunktüberfahrten am Knotenpunkt  $i$  im Untersuchungszeitraum  $t_{K,i}$  [Kfz/d]

ermitteln.

Die  $UKR_{K,M}$  entspricht somit dem mit der Verkehrsstärke und dem Untersuchungszeitraum gewichteten Mittelwert der  $UKR_{K,i,a}$ .

Die Notwendigkeit der Bildung einer Unfallkostenrate erfordert die Kenntnis der Kfz-Verkehrsbelastungen, diese lagen bezogen auf das Ausgangskollektiv von 104 Minikreisverkehren nur in 83 Fällen vor.

Bezogen auf die Lage des Minikreisverkehrs, im Hauptverkehrs- oder Erschließungsstraßennetz, sind eher keine Unterschiede in der  $UKR_{K,M}$  feststellbar. Im Hauptverkehrsstraßennetz liegt zwar eine höhere  $UKD_{K,M}$  als im Erschließungsstraßennetz vor, die allerdings auf höhere Verkehrsstärken zurückzuführen ist (Tabelle 15).

Unterscheidet man jedoch 3- und 4-armige Minikreisverkehre, so sind deutlich höhere Kennwerte bei 4-armigen als bei 3-armigen erkennbar. Dies ist durch die Komplexität der Verkehrsanlage zu begründen, die mit steigender Anzahl Knotenpunktarme und den damit geringer werdenden Abständen zwischen den einzelnen Armen zunimmt (Tabelle 16).

Mit zunehmender Verkehrsstärke nimmt die  $UKR_{K,M}$  tendenziell ab. Bei der  $UKD_{K,M}$  ist ein starker Anstieg mit steigender Verkehrsbelastung bis 15.000 Kfz/d erkennbar, die bei größeren Verkehrsbelastungen wieder abnimmt und somit einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit nahelegt (Tabelle 17).

Die relativ hohe  $UKR_{K,M}$  bei der Verkehrsstärke  $> 12.000$  bis  $\leq 15.000$  Kfz/d ist auf 3 Minikreisverkehre mit insgesamt 12 Unfällen und 3 Schwerverletzten zurückzuführen.

Lage: Knotenpunkt im	$n_K$ [-]	$n_U$ [U]	$UKD_{K,M}$ [1.000 €/a]	$UKR_{K,M}$ [€/ (1.000 Kfz)]
HS-Netz	61	95	11,73	3,81
ES-Netz	22	27	7,68	3,67
Gesamt	83	122	10,65	3,78

Tab. 15: Minikreisverkehre nach Lage mit Anzahl Unfälle,  $UKD_{K,M}$  und  $UKR_{K,M}$  (Unfallkategorien 1-4)

Knotenpunkte nach Armen	$n_K$ [-]	$n_U$ [U]	$UKD_{K,M}$ [1.000 €/a]	$UKR_{K,M}$ [€/ (1.000 Kfz)]
3-armig	28	21	6,05	1,92
4-armig	55	101	13,00	4,91

Tab. 16: Minikreisverkehre nach Anzahl Knotenpunktarme mit Anzahl Unfälle,  $UKD_{K,M}$  und  $UKR_{K,M}$  (Unfallkategorien 1-4)

DTV	$n_K$ [-]	$n_U$ [U]	$UKD_{K,M}$ [1.000 €/a]	$UKR_{K,M}$ [€/ (1.000 Kfz)]
$\leq 6.000$	41	44	5,97	4,43
$> 6.000 - \leq 12.000$	24	36	12,58	4,15
$> 12.000$	18	42	18,77	3,19
$> 12.000 - \leq 15.000$	8	21	26,15	5,00
$> 15.000$	10	21	12,87	2,01
Gesamt	83	122	10,65	3,78

Tab. 17: Minikreisverkehre nach Verkehrsstärke mit Anzahl Unfälle,  $UKD_{K,M}$  und  $UKR_{K,M}$  (Unfallkategorien 1-4)

Außendurchmesser	$n_K$ [-]	$n_U$ [U]	$UKD_{K,M}$ [1.000 €/a]	$UKR_{K,M}$ [€/ (1.000 Kfz)]
$\geq 13$ m - $\leq 18$ m	45	56	8,31	3,55
$> 18$ m - $\leq 22$ m	38	66	13,43	3,97
Gesamt	83	122	10,65	3,78

Tab. 18: Minikreisverkehre nach Außendurchmesser mit Anzahl Unfälle,  $UKD_{K,M}$  und  $UKR_{K,M}$  (Unfallkategorien 1-4)

Beim Vergleich von kleinen und großen Außendurchmessern (13-18 m und 18-22 m) sind eher keine Unterschiede in der  $UKR_{K,M}$  erkennbar. Die  $UKD_{K,M}$  ist bei Minikreisverkehren mit großen Außendurchmessern mit i. d. R. stärkerer Verkehrsbelastung deutlich höher (Tabelle 18).

Um die Unfallkennwerte, die für die Minikreisverkehre ermittelt wurden, mit denen anderer als Varianten infrage kommenden Knotenpunktarten zu vergleichen, wurden die in dem Forschungsprojekt „Bewertung von Ortsumgehungen aus Verkehrssicherheitsicht“ (MAIER/ENKE, 2009) ermittelten Werte herangezogen.

Knotenpunktart	$n_K$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
Minikreisverkehr 3-armig	12	14	8,60	2,02
Einmündung mit Verkehrszeichen	181	185	10,73	4,68
Einmündung mit LSA	28	76	32,28	6,60
Minikreisverkehr 4-armig	14	28	18,04	5,66
Kreuzung mit Verkehrszeichen	45	124	35,58	13,39
Kreuzung mit LSA	55	235	45,72	8,40

Tab. 19: 3- und 4-armige Knotenpunkte (mit DTV) an Hauptverkehrsstraßen nach Knotenpunktart mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Da sich diese Kennwerte zum einen auf Unfälle der Kategorien 1-6 (3-jähriger Betrachtungszeitraum<sup>7</sup>) beziehen und auf anderen Unfallkostensätzen beruhen und die Knotenpunkte zudem nur an Hauptverkehrsstraßen (HS/HS) liegen, erfolgte eine Neuberechnung dieser Kennwerte auf Grundlage des Unfallgeschehens der Unfallkategorien 1-4 und der Unfallkostensätze nach Kapitel 4.4.2. Um eine direkte Vergleichbarkeit der Kennwerte zu erhalten, wurden nur Minikreisverkehre herangezogen, die ebenfalls an sich kreuzenden Hauptverkehrsstraßen liegen.

Erkennbar ist, dass sowohl 3- als auch 4-armige Minikreisverkehre deutlich geringere UKR<sub>K,M</sub> und auch UKD<sub>K,M</sub> aufweisen als vergleichbare Einmündungen bzw. Kreuzungen – unabhängig davon, ob diese verkehrszeichen- oder LSA-geregelt sind (Tabelle 19).

#### 4.4.4 Grundunfallkostenrate

Nach dem „Entwurf eines Handbuchs zur Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen (HVS)“ (BARK et al. 2008) ergibt sich – die dort noch nicht bezifferte – Grundunfallkostenrate für kleine Kreisverkehre nach Bild 71 mit Zuschlägen zu dieser Grundunfallkostenrate aus dem Fehlen regelwerks-

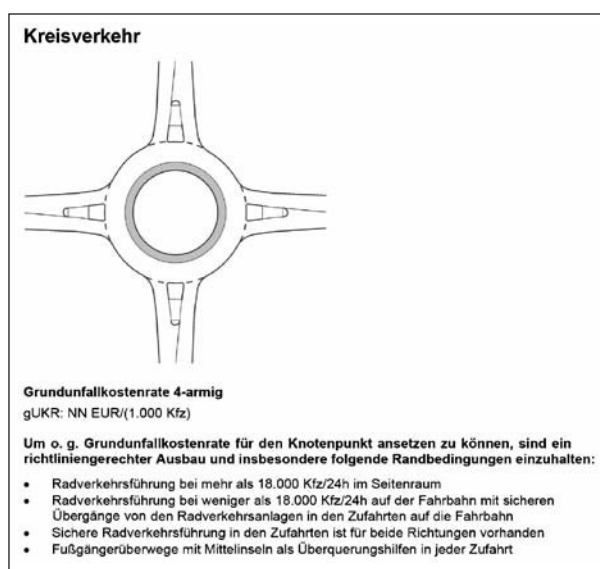


Bild 71: Randbedingungen zur Einhaltung der Grundunfallkostenrate für Kreisverkehre nach BARK et al. (2008)

konformer Entwurfs-elemente oder deren unsicherer Ausgestaltung.

Überträgt man diese Anforderungen auf Minikreisverkehre, so ergeben sich aus einem „regelwerkskonformen Ausbau“ die erforderlichen geometrischen Ausführungen von

- Außendurchmesser,
- Breite des Kreisrings/der Kreisfahrbahn,
- Fahrstreifenbreite der Kreiszu- und -ausfahrten,
- Radien der Eckausrundungen,
- Kreisinseldurchmesser,
- Bordeinfassung der Kreisinsel,
- Sichtfeldern.

Die besonderen Randbedingungen betreffen die

- Radverkehrsführung auf der Kreisfahrbahn bis zu einer Verkehrsstärke von 1.500 Kfz/h (Summe der zuführenden Verkehre in allen Knotenpunktzufahrten) mit sicheren Übergängen von den Radverkehrsanlagen in allen Zufahrten,
- Fußgängerüberwege mit Mittelinseln als Überquerungshilfen in jeder Zufahrt.

Die mit dem hier analysierten Untersuchungskollektiv erfassten Minikreisverkehre erfüllen zum überwiegenden Teil die geforderten geometrischen und baulichen Anforderungen an

<sup>7</sup> „Der Untersuchung lagen Daten verschiedener Regionen und aufgrund der Datenverfügbarkeit unterschiedlicher Betrachtungszeiträume zugrunde: Sachsen und Sachsen-Anhalt: 2004 bis 2006, Landkreis Harburg: 2003 bis 2005, Landkreis Kleve: 2002 bis 2004“ (MAIER/ENKE, 2009).

- Außendurchmesser,
- Breite des Kreisrings/der Kreisfahrbahn,
- Fahrstreifenbreite der Kreiszu- und -ausfahrten,
- Radien der Eckausrundungen,
- Kreisinseldurchmesser,
- Bordeinfassung der Kreisinsel.

Bezogen auf die materialmäßige Ausbildung der Kreisinsel lassen sich jedoch Unterschiede feststellen, die sich auch in den Unfallkennwerten niederschlagen. Demnach zeigen Minikreisverkehre mit materialmäßig abgesetzten Kreisinseln günstigere  $UKR_{K,M}$  als solche mit asphaltierten Kreisinseln (Tabelle 20).

Das Vorhandensein ausreichender Sichtfelder konnte im Einzelnen nicht analysiert werden. Bezogen auf die besonderen Randbedingungen zum Fußgänger- und Radverkehr kann festgestellt werden, dass die Radverkehrsführung allein schon aus Platzgründen im Wesentlichen auf der Kreisfahrbahn erfolgt und auch in den Zuläufen Fahrbahnführung vorherrscht.

Demgegenüber lässt sich die Frage nach den Auswirkungen der im technischen Regelwerk geforderten Anlage von Mittelinseln (Fahrbahnteilern) und Fußgängerüberwegen auf die Verkehrssicherheit und damit auf eine zu bestimmende Grundunfallkostenrate für Minikreisverkehre nicht so eindeutig beantworten. Die in der Praxis vorgefundene Kombinationsvielfalt bezüglich Fahrbahnteilern und Fußgängerüberwegen (FGÜ) reduziert zudem die Stichprobe erheblich (s. Tabelle 21).

Minikreisverkehre mit Fußgängerüberwegen in einigen bzw. allen Zufahrten machen nur ein Drittel der Fallbeispiele aus und zerfallen durch die weitere Differenzierung nach der Ausstattung mit Fahrbahnteilern in zu kleine Fallzahlen. Die Berechnung der Unfallkostenrate für die übrigen 55 Minikreisverkehre ohne Fußgängerüberwege ergibt annähernd gleiche Werte für „keine Fahrbahnteiler vorhanden“ und „Fahrbahnteiler in allen Zufahrten vorhanden“. Der günstigere Wert für Minikreisverkehre ohne Fußgängerüberwege mit Fahrbahnteilern in einigen Zufahrten kann allenfalls damit erklärt werden, dass diese Fahrbahnteiler in den „richtigen“ für die Überquerbarkeit wichtigen Zufahrten angeordnet wurden.

Ausführung der Kreisinsel	$n_K$ [-]	$n_U$ [U]	$UKR_{K,M}$ [€/1.000 Kfz]
gepflastert/betoniert mit Bord	38	48	2,93
asphaltiert mit Bord	32	61	4,88
asphaltiert/markiert ohne Bord	5	8	1,59
k. A.	8	5	5,33
Gesamt	83	122	3,78

Tab. 20: Minikreisverkehre nach Ausführung der Kreisinsel mit Anzahl Unfälle und  $UKR_{K,M}$  (Unfallkategorien 1-4)

FGÜ \ Fahrbahnteiler	keine	in einigen Zufahrten	in allen Zufahrten	$n_K$ [-]
keine	19 (4,36)	18 (2,65)	18 (4,65)	55
in einigen Zufahrten	4 (k. A.)	5 (k. A.)	2 (k. A.)	11
in allen Zufahrten	7 (k. A.)	3 (k. A.)	7 (k. A.)	17
$n_K$ [-]	30	26	27	83
(...) = $UKR_{K,M}$ (Aufgrund der teilweise geringen Anzahl an Fallbeispielen bei den Kombinationsfällen wurde in diesen Fällen auf die Angabe einer $UKR_{K,M}$ verzichtet.)				

Tab. 21: Minikreisverkehre nach Anzahl und  $UKR_{K,M}$  bei Kombinationen von Fahrbahnteilern und Fußgängerüberwegen (FGÜ) (Unfallkategorien 1-4)

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich der Vorschlag, die Grundunfallkostenrate für Minikreisverkehre auf Basis des dreijährigen Unfallgeschehens in den Kategorien 1 bis 4 der 83 Minikreisverkehre zu ermitteln.

Dabei sollte allerdings nach 3-armigen und 4-armigen Knotenpunkten unterschieden werden, wobei sich bei 4-armigen Minikreisverkehren die Lage im Erschließungsstraßennetz als günstiger erweist (s. Tabellen 22 bis 24).

Während die Größe des Außendurchmessers offensichtlich keinen Einfluss auf die Unfallkostenrate hat (Tabelle 18), ergibt sich eine leichte Verringerung der Unfallkostenrate mit zunehmender Kfz-Verkehrsbelastung. Eine tendenziell deutliche Reduzierung deutet sich bei sehr hohen Verkehrsstärken über 15.000 Kfz/d an (Tabelle 17).

Die Grundunfallkostenrate ( $gUKR_K$  in €/1.000 Kfz), die in der Regel auf Basis des dreijährigen Unfall-

Lage: Knotenpunkt im	$n_K$ [-]	$n_U$ [U]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
HS-Netz	61	95	3,81
ES-Netz	22	27	3,67
Gesamt	83	122	3,78

Tab. 22: Minikreisverkehre nach Lage mit Anzahl Unfälle und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Lage: Knotenpunkt im	$n_K$ [-]	$n_U$ [U]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
HS-Netz	23	19	1,96
ES-Netz	5	2	1,32
Gesamt	28	21	1,92

Tab. 23: 3-armige Minikreisverkehre nach Lage mit Anzahl Unfälle und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Lage: Knotenpunkt im	$n_K$ [-]	$n_U$ [U]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
HS-Netz	38	76	5,28
ES-Netz	17	25	3,96
Gesamt	55	101	4,91

Tab. 24: 4-armige Minikreisverkehre nach Lage mit Anzahl Unfälle und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

geschehens zu ermitteln ist (vgl. HVS, Entwurf 2008),<sup>8</sup> kann z. B. als Perzentil aus der Summenlinie der UKR<sub>K</sub> des Gesamtkollektivs (z. B. 30 %) ermittelt werden. Aktuelle Diskussionen in der FGSV-Ad-hoc-Gruppe 3.0.1 sowie die Überarbeitungen des HVS (Entwurf 2008)<sup>9</sup> haben ergeben, dass die Ermittlung der gUKR<sub>K</sub> als mittlere UKR<sub>K,M</sub> aller regelwerkskonformen Knotenpunkte abgeleitet genauer erscheint. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass das Kollektiv dieser regelwerkskonformen Knotenpunkte ausreichend groß ist.

<sup>8</sup> Der Entwurf 2008 des HVS (Handbuch für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen) wurde im Rahmen des FE 03.389/2005/FGB vom Fachgebiet Straßenwesen und Vermessung der FH Gießen-Friedberg und der BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen, erarbeitet (vgl. BARK et al., 2008).

<sup>9</sup> FE 16.0012/2009 Bewertung der Sicherheitsbelange der Straßenverkehrsinfrastruktur bearbeitet vom Fachgebiet Straßenwesen und Vermessung der FH Gießen-Friedberg, der BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen, und Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung der TU Dresden.

Ausführungsform und Lage	gUKR <sub>K</sub> [€/(1.000 Kfz)]
3-armiger Minikreisverkehr	2
4-armiger Minikreisverkehr im Hauptverkehrsstraßennetz	5
4-armiger Minikreisverkehr im Erschließungsstraßennetz	4

Tab. 25: Vorschlag einer Grundunfallkostenrate gUKR<sub>K</sub> für Minikreisverkehre (Unfallkategorien 1-4,  $n_K = 83$ )

Ausführungsform und Lage	gUKR <sub>K</sub> [€/(1.000 Kfz)]
3-armiger Minikreisverkehr	1
4-armiger Minikreisverkehr im Hauptverkehrsstraßennetz	4
4-armiger Minikreisverkehr im Erschließungsstraßennetz	3

Tab. 26: Vorschlag einer Grundunfallkostenrate gUKR<sub>K</sub> für Minikreisverkehre mit baulich abgesetzter Kreisinsel (gepflastert/asphaltiert mit Bord) (Unfallkategorien 1-4,  $n_K = 38$ )

Auf Grundlage dieser Auswertungen werden folgende Grundunfallkostenraten für Minikreisverkehre für die Aufnahme in das HVS vorgeschlagen (Tabelle 25).

Alternativ hierzu kann eine gUKR<sub>K</sub> für idealtypische Minikreisverkehre, z. B. unter Berücksichtigung einer baulich abgesetzten Kreisinsel (gepflastert/asphaltiert mit Bord), als weiterer Vorschlag angegeben werden. Allerdings wird das Kollektiv hierdurch bereits stark, von 83 auf 38 Knotenpunkte, reduziert (Tabelle 26).

Die nach der Bewertungsstruktur des HVS vorgesehenen Zuschläge zur Grundunfallkostenrate (diese ergeben sich aus dem Fehlen regelwerkskonformer Entwurfs-elemente oder deren unsicheren Ausgestaltung) sollten für Minikreisverkehre bezogen auf die Merkmale der Verkehrsstärke und Ausbildung der Kreisinsel angegeben werden. Die Diskussion über eventuelle Zuschläge und deren Höhe sowie deren Festlegung muss der Weiterbearbeitung des HVS-Entwurfs vorbehalten werden.

## 5 Bewertung der Verkehrsqualität

Die Kapazitätsberechnung von Kreisverkehren erfolgt bei den bekannten Rechenverfahren zufahrtsweise. Dazu wird der Kreisverkehr als eine Folge



von Einmündungen mit Vorfahrtregelung betrachtet. Mögliche Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Armen eines Kreisverkehrs werden bei dieser vereinfachten Betrachtung nicht berücksichtigt. Beeinflussungen von Kreisverkehrszufahrten können zum Beispiel bei kurzen Abständen zur nachfolgenden Ausfahrt mit hohem Fußgängeraufkommen eintreten (Überstauung der Ausfahrt in die Kreisfahrbahn). Praxistaugliche Verfahrensansätze, welche den Kreisverkehr als Gesamtanlage einschließlich aller Wechselwirkungen betrachten, liegen bisher nicht vor.

Grundsätzlich wird zur Kapazitätsermittlung nach zwei Herangehensweisen unterschieden:

- empirisch ermittelte Zusammenhänge und
- theoretisch hergeleitete Ansätze (Zeitlückentheorie, Konfliktmatrixverfahren).

In dem vorliegenden Forschungsprojekt wurden drei verschiedene Berechnungsverfahren aus den genannten Gruppen untersucht und ein Verfahrensvorschlag zur Bewertung der Verkehrsqualität abgeleitet.

## 5.1 Beobachtungen des Verkehrsablaufs/Methodik

### 5.1.1 Auswahl der Erhebungsstellen

Für die empirischen Erhebungen des Verkehrsablaufs wurden möglichst hoch belasteten Verkehrsanlagen ausgewählt. Dadurch konnte ein vergleichsweise großes Verkehrsstärkespektrum abgedeckt werden, da an hoch belasteten Anlagen i. d. R. auch schwächer belastete Zufahrten vorzufinden sind. Dies war zum einen für die Kalibrierung und Validierung des Simulationsmodells notwendig, zum anderen auch bei der zunächst vorgenommenen Betrachtung der Berechnungsverfahren auf Basis der erhobenen Datengrundlage hilfreich, da bei der analytischen Beurteilung des Verkehrsablaufs die hoch belasteten Bereiche als besonders aussagefähig anzusehen sind. Daher wurden nur Minikreisverkehre mit einem DTV  $\geq 15.000$  Fz/24h für die Erhebungen ausgewählt.

Um ein möglichst repräsentatives Abbild typischer Gestaltungscharakteristika zu gewährleisten, wurden vor allem die Merkmale zu

- Anzahl der Zufahrten,

Anzahl Zufahrten:		3 (5 Anlagen)	4 (5 Anlagen)
Kreisinsel- ausführung	Pflaster	2	3
	Asphalt	2	1
	markiert	1	1
Lage	HS/HS	2	4
	HS/ES	3	1
Außen- durchmesser	$\leq 18$ m	3	1
	$> 18$ m	2	4

Tab. 27: Messstellencharakteristika

- Ausführung der Kreisinsel,
- Lage in Abhängigkeit der verknüpften Straßenkategorien gemäß RIN (2008) sowie
- die Größe der Anlagen in Form des Außendurchmessers

berücksichtigt. Informationen zu den Verkehrsbelastungen und Gestaltungsmerkmalen konnten dem im 1. Arbeitsschritt erstellten Katalog der in Deutschland vorhandenen Minikreisverkehre entnommen werden. In Tabelle 27 sind die Charakteristika der untersuchten Messstellen in Abhängigkeit der Anzahl der Zufahrten dargestellt.

### 5.1.2 Durchführung der Messungen

Die Verkehrserhebungen an den 10 Minikreisverkehren wurden mittels Videotechnik realisiert, um die komplexen Verkehrsabläufe an den beobachteten Minikreisverkehren knotenstromfein auszuwerten. An den Messstellen wurde gegenüber jeder Zufahrt eine Kamera mittels Stativ so positioniert (Bild 72), dass

- die Ankunft am Warteschlangeneende,
- der Anhaltevorgang in 1. und 2. Warteposition,
- der Fahrtverlauf auf der Kreisfahrbahn,
- das Ausfahrverhalten sowie
- Fußgängerquerungen in den Zu- bzw. Ausfahrten

beobachtet werden konnten (Bild 73). Folglich wurden an dreiarmligen Minikreisverkehren drei Videokameras und an vierarmigen Minikreisverkehren vier Videokameras zu Erfassung des Verkehrsablaufs eingesetzt.



**Bild 72:** Positionierung der Videomesstechnik



**Bild 73:** Beobachtungsbereich einer Kamera

Der Verkehrsablauf wurde sowohl in der Morgenspitzenverkehrszeit (7:00 bis 9:00 Uhr) als auch in der Nachmittagspitzenverkehrszeit (14:30 bis 17:00 Uhr) für jeweils 2 bzw. 2,5 Stunden aufgezeichnet. Aus diesen Aufzeichnungen wurden für jeden Minikreisverkehr die höchst belastetste Morgen- und Nachmittagsstunde ermittelt und für die weitere Auswertung ausgewählt. Somit wurden aus insgesamt 45 Stunden Videomaterial 20 Stunden für die Detailauswertung des Verkehrsablaufs verwendet.

Neben den Videobeobachtungen wurden Geschwindigkeitsmessungen in den Kreisverkehrszufahrten durchgeführt. Dazu wurden bei jeder Messung die Geschwindigkeiten von 30 ohne Halt in die Kreisfahrbahn einfahrenden Fahrzeugen für jede Zufahrt mittels Lasermessgerät erhoben. Der Messbereich umfasste dabei die letzten 12 m vor der Wartelinie. Des Weiteren wurden Geschwindig-

keiten in den Zufahrten ca. 75 bis 100 m vor der Wartelinie mittels Seitenradar erfasst. Die Seitenradarmessungen erfolgten nur, wenn ausschließlich durch die Annäherung an den Minikreisverkehr beeinflusste Geschwindigkeiten erfasst werden konnten (keine unmittelbar benachbarte F-LSA oder FGÜ) und eine Befestigungsmöglichkeit verfügbar war (Schilder- bzw. Laternenmast). Die so erhobenen Geschwindigkeiten im Annäherungsbereich dienen als Grundlage für die Wunschgeschwindigkeitsverteilung der mikroskopischen Verkehrsflusssimulationen.

### 5.1.3 Auswertung

Vor Beginn der manuellen Videoauswertung wurden die Aufnahmen der drei bzw. vier eingesetzten Kameras synchronisiert. Bei der Videoauswertung wurden für jedes Fahrzeug

- die Fahrzeugart,
- der Verkehrsstrom (von Zufahrt nach Ausfahrt),
- mögliche Beeinflussung durch querende Fußgänger in der Zufahrt bzw. Ausfahrt (keine, direkte bzw. indirekte Beeinflussung),
- die Fahrlinie (Kreisfahrbahn, leichte Überfahrunge bzw. vollständige Überfahrunge der Kreisinsel) sowie
- der zeitliche Verlauf der Befahrung durch Zeitstempel der Verkehrsteilnehmer an vordefinierten Messquerschnitten

bestimmt. Folgende Zeitstempel wurden für jede Fahrzeugfront mit einer Genauigkeit von vier Hundertstelsekunden aufgenommen (Bild 74):

- 1 Ankunft am Warteschlangenende,
- 2 Ankunft an der Wartelinie,
- 3 Verlassen der Wartelinie (Einfahrt in die Kreisfahrbahn,
- 4 Passieren auf der Kreisfahrbahn (abhängig vom Richtungswunsch):
  - 4a rechts liegende Zufahrt (Geradeausfahrer und Linksabbieger),
  - 4b gegenüberliegende Zufahrt (Linksabbieger),
- 5 Verlassen der Kreisfahrbahn.

Weiterhin wurde für jede Zu- und Ausfahrt die Anzahl der im Beobachtungszeitraum querenden Fuß-

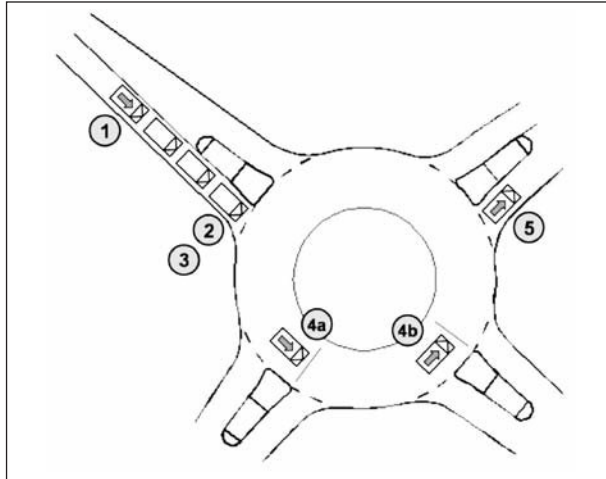


Bild 74: Erhobene Zeitwerte der Fahrzeugströme

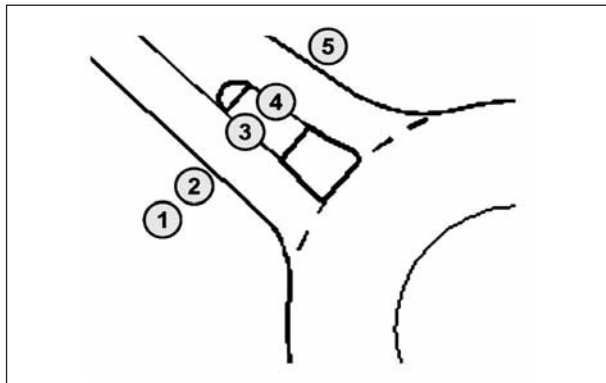


Bild 75: Erhobene Zeitwerte der Fußgängerströme

gänger ermittelt und für beide Querungsrichtungen folgende Zeiten der Fußgänger erhoben (Bild 75):

- 1 Ankunft an der Furt,
- 2 Betreten der Fahrbahn,
- 3 Ankunft am Fahrbahnteiler bzw. der Mitte der Fahrbahn,
- 4 Losgehen vom Fahrbahnteiler bzw. der Mitte der Fahrbahn und
- 5 Ankunft am Fahrbahnrand.

Die so erhobenen Daten ermöglichen die Bestimmung und Berechnung aller für die weiteren Untersuchungsschritte erforderlichen Kenngrößen und Zeitwerte. Sie dienen als Grundlage für die angewandten Berechnungsverfahren und der empirischen Bestimmung der Kapazitäten.

#### 5.1.4 Datenbasis

Grundlage für die Untersuchung bilden 20 Std. Videoauswertungen, welche an 10 verschiedenen

Messung	Ort (Zufahrten, Außendurchmesser)	Erhebungsdatum	Knotengesamtbelastung	
			Fahrzeuge [Fz/h]	Fußgänger [Fg/h]
1-1	Stendal (4, D = 20 m)	16.03.10	1.246	73
1-2			1.502	79
2-1	Villingen-Schwenningen (3, D = 20 m)	07.04.10	732	28
2-2			1.143	51
3-1	Schwäbisch Gmünd (4, D = 17 m)	08.04.10	1.123	30
3-2			1.415	72
4-1	Niederolm (4, D = 20 m)	09.04.10	685	323
4-2			912	374
5-1	Siegburg I (3, D = 22 m)	13.04.10	749	78
5-2			1.051	141
6-1	Siegburg II (3, D = 15 m)	14.04.10	1.054	140
6-2			986	189
7-1	Greven (4, D = 19,5 m)	15.04.10	1.292	194
7-2			1.325	126
8-1	Hagen (3, D = 18 m)	16.04.10	1.102	52
8-2			1.403	123
9-1	Aspensen (4, D = 22 m)	11.08.10	1.196	112
9-2			1.393	95
10-1	Harsefeld (3, D = 17,5 m)	12.08.10	1.045	75
10-2			1.188	29

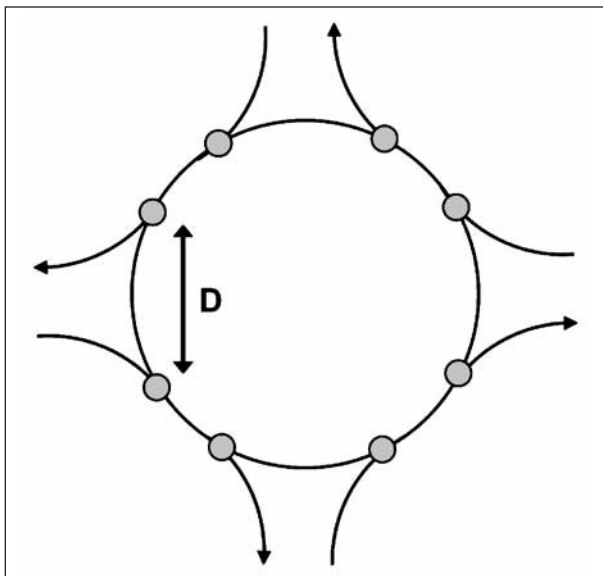
Tab. 28: Messstellenübersicht

Messstellen in der Morgen- und der Nachmittags-spitzenverkehrszeit erfasst wurden (vgl. Kapitel 5.1.2). Tabelle 28 zeigt eine Übersicht der Erhebungsorte und die für die Spitzenstunden ermittelten Verkehrsbelastungen im Fahrzeug- und Fußgängerverkehr. Die Codierung einer Messung X-Y setzt sich aus dem Erhebungsort X und der Messung Y (Y = 1 für die Messung in der Morgenspitzenstunde und Y = 2 für die Messung in der Nachmittagspitzenstunde) zusammen. Eine ausführliche Dokumentation der Messstellen ist im Kapitel 8.6 beigefügt.

## 5.2 Einfluss der ausfahrenden Fahrzeuge

### 5.2.1 Vorüberlegungen

Die bisher in Deutschland zur Kapazitätsermittlung von Kreisverkehren verwendeten Berechnungsverfahren berücksichtigen ausschließlich den unmittelbar bevorrechtigten Verkehr auf der Kreisfahrbahn



**Bild 76:** Konfliktpunkte an einem Kreisverkehr

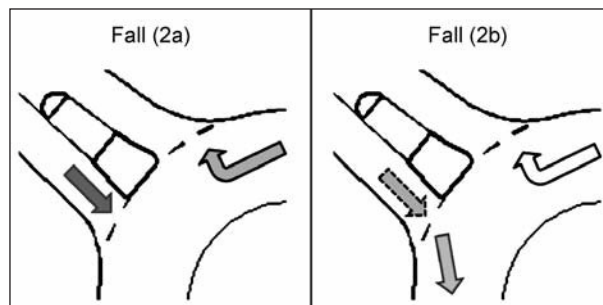
vor der betrachteten Zufahrt. Von einer Beeinflussung der Kapazität einer Zufahrt durch Fahrzeuge, welche den Kreisverkehr am selben Knotenarm verlassen, wird nicht ausgegangen. Verschiedene Untersuchungen in andern Ländern (vgl. MAILER, 1997) unterstellen jedoch genau einen solchen Einfluss.

Aufgrund der geringen Außendurchmesser von Minikreisverkehren ( $\leq 22$  m) verkürzen sich die Distanzen zwischen den verschiedenen Konfliktpunkten. Bei kurzen Abständen zwischen Verflechtungspunkt der Ausfahrer und der Warteposition in der Zufahrt (in Bild 76 mit D bezeichnet) steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein wartepflichtiger Verkehrsteilnehmer die Absicht eines sich von links nähernden Verkehrsteilnehmers nicht rechtzeitig erkennt und somit eine Beeinflussung durch ausfahrende Fahrzeuge auftritt.

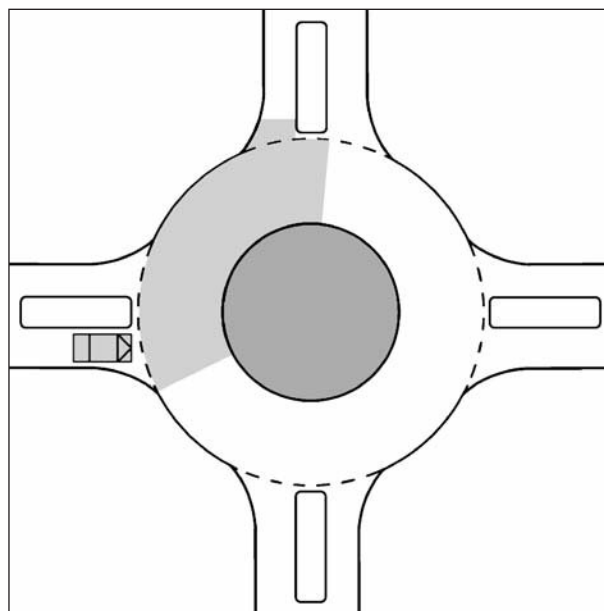
### 5.2.2 Methodik

Um die Beeinflussung wartepflichtiger Fahrzeuge durch Ausfahrer zu quantifizieren, wurden für 5 Minikreisverkehre Verhaltensbeobachtungen vorgenommen. Dazu wurde anhand der Videoaufzeichnungen für die Fälle, in denen ein in der Zufahrt wartender Fahrzeugführer in Interaktion mit einem bevorrechtigten Fahrzeug auf der Kreisfahrbahn oder einem ausfahrenden Fahrzeug trat, danach unterschieden,

- (1) ob es sich ausschließlich um ein bzw. mehrere bevorrechtigte Fahrzeuge handelte, die auf der Kreisfahrbahn weiterfahren, oder



**Bild 77:** Untersuchungsfälle (2a) und (2b)



**Bild 78:** Interaktionsbereich einer Zufahrt

- (2) ob es sich um bevorrechtigte Verkehrsteilnehmer auf der Kreisfahrbahn und/oder ausschließlich um ausfahrende Fahrzeuge handelte.

Für den Fall (2) wurde weiterhin aufgenommen, ob der wartepflichtige Verkehrsteilnehmer

- (2a) trotz ausreichender Zeitlücke im bevorrechtigten Strom im Kreis aufgrund eines Ausfahrers nicht in den Kreisverkehr einfuhr (Bild 77) oder
- (2b) den Ausfahrer rechtzeitig als solchen erkannte und in den Kreis einfuhr (Bild 77).

Ob eine Interaktion zwischen einem wartepflichtigen Verkehrsteilnehmer und einem bzw. mehreren direkt (Fahrzeug im Kreis) oder indirekt (Ausfahrer) bevorrechtigten Verkehrsteilnehmern vorlag, wurde durch die Unterteilung des Minikreisverkehrs in unterschiedliche Sektoren (Interaktionsbereiche) festgelegt – vgl. Bild 78. Die Länge des Interaktionsbereichs wurde so gewählt, dass die Zeitdauer zum Durchfahren ( $t_x$ ) knapp unter der Grenzzeitlücke

( $t_g$ ) lag. Da die Grenzzeitlücke die im Mittel kleinste Bruttozeitlücke in einem übergeordneten Verkehrsstrom bildet, die von einem wartepflichtigen Verkehrsteilnehmer zum Einfahren angenommen wird (HBS, 2001), für eine Interaktion aber die Nettozeitlücke relevant ist, sollte  $t_x$  knapp unter  $t_g$  liegen.

Der Anteil der die wartepflichtigen Verkehrsteilnehmer beeinflussenden Ausfahrer (Faktor  $\alpha$ ) wurde nach Gleichung 9 ermittelt.

$$\alpha = \frac{N_{\text{Fall (2a)}}}{N_{\text{Fall (2a)}} + N_{\text{Fall (2b)}}} \quad \text{Gl. 9}$$

mit

$\alpha$  Anteil der die untergeordneten Verkehrsteilnehmer beeinflussenden Ausfahrer [-]

$N_{\text{Fall (2a)}}$  Anzahl der im Untersuchungszeitraum für eine Zufahrt beobachteten ausfahrenden Fahrzeuge des Falls (2a) [-]

$N_{\text{Fall (2b)}}$  Anzahl der im Untersuchungszeitraum für eine Zufahrt beobachteten ausfahrenden Fahrzeuge des Falls (2b) [-]

### 5.2.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Verhaltensbeobachtungen an den 5 ausgewählten Minikreisverkehren sind in Tabelle 29 aufgeführt. Die für die einzelnen Messungen erhobenen Einflussfaktoren  $\alpha$  variieren zwischen 13 % und 36 %. Im Mittel ergab sich für dreiarmige Minikreisverkehre ein um 5%-Punkte geringerer Ausfahrereinfluss als für vierarmige Minikreisverkehre. Wird keine Differenzierung nach Anzahl der Zufahrten vorgenommen, ergab sich im Mittel ein Ausfahrereinfluss von 22 %.

Anhand der für die einzelnen Zufahrten ermittelten Einflussfaktoren wurden mögliche Zusammenhänge zwischen Verkehrsstärke der Ausfahrer und dem Ausfahrereinfluss  $\alpha$  überprüft. Auf Basis der 10 ausgewerteten Messungen (2 Messungen je Kreisverkehr) konnten Einflussfaktoren für 36 Zufahrten analysiert werden. In Bild 79 sind die ermittelten Faktoren für den Ausfahrereinfluss den an den untersuchten Knotenarmen beobachteten Verkehrsstärken der Ausfahrer gegenübergestellt. Sowohl für dreiarmige als auch für vierarmige Minikreisverkehre zeigte sich kein abnehmender bzw. zunehmender Ausfahrereinfluss bei zunehmender Verkehrsstärke des ausfahrenden Verkehrs. Die

Messstelle (Anzahl Zufahrten)	Fall (2a)	Fall (2b)	Faktor $\alpha$
1-1 (4)	39	268	0,13
1-2 (4)	125	325	0,28
7-1 (4)	42	239	0,15
7-2 (4)	51	227	0,18
8-1 (3)	61	176	0,26
8-2 (3)	84	341	0,20
9-1 (4)	98	177	0,36
9-2 (4)	125	274	0,31
10-1 (3)	41	210	0,16
10-2 (3)	39	207	0,16
Gesamt (3)	225	934	0,19
Gesamt (4)	480	1.510	0,24
<b>Gesamt</b>	<b>705</b>	<b>2.444</b>	<b>0,22</b>

Tab. 29: Ergebnisse Ausfahrereinfluss

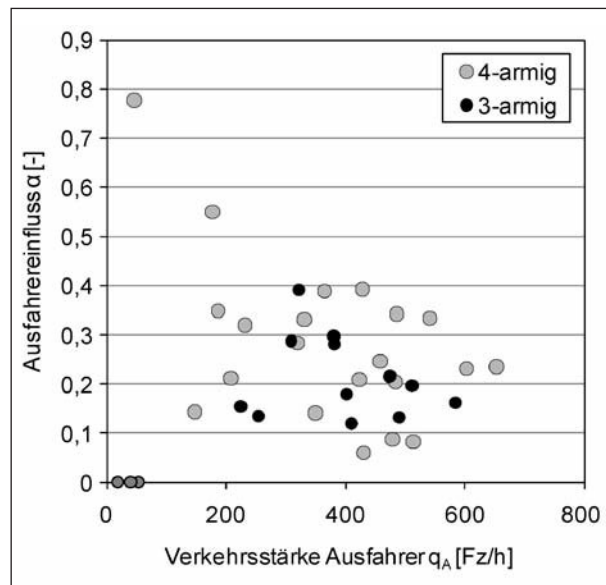


Bild 79: Ausfahrereinfluss an den untersuchten Zufahrten und Verkehrsstärke des ausfahrenden Verkehrs

ermittelten Einflussfaktoren streuen über den beobachteten Verkehrsstärkebereich der Ausfahrer (von 100 bis 600 Fz/h) auf einem vergleichbaren Niveau.

Für die nachfolgenden Auswertungen werden daher pauschale Faktoren für die Berücksichtigung des Ausfahrereinflusses verwendet. Aus pragmatischen Gründen wird dabei für dreiarmige Minikreisverkehre der Ausfahrereinfluss mit 20 % ( $\alpha_3 = 0,2$ ) und für vierarmige Minikreisverkehre mit 25 % ( $\alpha_4 = 0,25$ ) berücksichtigt.

## 5.3 Empirische Regression

### 5.3.1 Theoretischer Hintergrund

Empirische Regressionsverfahren basieren in der Regel auf an Kreisverkehrszufahrten beobachteten Kapazitätswerten. Zur empirischen Kapazitätsbestimmung an Knotenpunkten mit Vorfahrtregelung existieren zwei unterschiedliche Ansätze:

- Kapazitätsabschätzung für Zeitintervalle mit ständigem Rückstau und
- Kapazitätsabschätzung nach KYTE.

Der funktionale Zusammenhang zwischen den auf Basis der Zeitintervalle mit ständigem Rückstau ermittelten bzw. nach KYTE abgeschätzten Kapazitäten einer Zufahrt und dem bevorrechtigten Verkehr im Kreis kann durch unterschiedliche Regressionsgleichungen (i. d. R. lineare oder exponentielle) beschrieben werden. Wird davon ausgegangen, dass es dem wartepflichtigen Verkehrsteilnehmer nicht immer rechtzeitig möglich ist, die Absicht des Fahrzeuges zu erkennen, welches sich von links nähert, sollte auch die Verkehrsstärke der Fahrzeuge, welche den Kreisverkehr über die Ausfahrt des untersuchten Knotenarms verlassen, mit in die Regressionsrechnung einbezogen werden (vgl. BOVY, 1991).

Durch die Betrachtung des Bestimmtheitsmaßes und der Reststreuung kann anschließend die am besten geeignete Regressionsgleichung für die weitere Verwendung ausgewählt werden (BRILON/GEPPELT, 2010).

#### Kapazitätsabschätzung für Zeitintervalle mit ständigem Rückstau

Zur empirischen Kapazitätsbestimmung werden bei dieser Methode in Zeitintervallen mit ständigem Rückstau in der Zufahrt die aus der Zufahrt abfließenden Fahrzeuge sowie die bevorrechtigten Fahrzeuge im Kreis (ggf. auch die Anzahl der Ausfahrer) gezählt. Somit können anschließend Stundenwerte hochgerechnet und mittels Regressionsrechnung Zusammenhänge zwischen der Kapazität der Zufahrt und der Verkehrsstärke des bevorrechtigten Hauptstroms (ggf. unter Berücksichtigung der Ausfahrer) hergestellt werden. In der Regel werden dafür Zeitintervalle von 1 Minute Dauer verwendet, da ununterbrochene Überlastungen von größerer Dauer selten auftreten (BRILON/GEPPELT, 2010). BRILON et al. (1990) belegten durch Simulations-

studien, dass bei der Verwendung von 1-Minuten-Intervallen die tatsächlichen Kapazitäten zuverlässig geschätzt werden können.

#### Kapazitätsabschätzung nach KYTE

Grundlage des Kapazitätsabschätzungsverfahrens nach KYTE (1991) bzw. KYTE et al. (1996) bilden die Wartezeiten in 1. Position ( $t_s$ ) sowie die Aufrückzeiten ( $t_m$ ) von der zweiten in die erste Warte-position einzelner Nebenstromfahrzeuge. Vorteil dieses Verfahrens ist, dass im Gegensatz zu anderen empirischen Verfahren zur Bestimmung der Kapazität untergeordneter Knotenströme kein ständiger Rückstau in den betrachteten Zufahrten erforderlich ist.

Die Aufrückzeiten  $t_m$  werden als Mittelwert über den gesamten Beobachtungszeitraum gebildet. Für die Bestimmung der Wartezeiten in erster Position kann dieser Zeitraum in gleich lange Intervalle  $i$  unterteilt werden. Für die Intervalle  $i$  werden die mittleren Wartezeiten in 1. Position  $t_{s,i}$  als Mittelwert der Einzelwartezeiten aller Nebenstromfahrzeuge im entsprechenden Intervall berechnet sowie die Verkehrsstärke des bevorrechtigten Hauptstroms ermittelt. Nach Gleichung 10 erfolgt die Berechnung der empirischen Kapazitäten  $C_i$  für jedes Zeitintervall  $i$ , wobei die ermittelten Kapazitäten  $C_i$  von der im jeweiligen Zeitintervall  $i$  beobachteten Hauptstrombelastung (ggf. unter Berücksichtigung der Ausfahrer) abhängig sind.

$$C_i = \frac{3600}{t_{s,i} + t_m} \quad \text{Gl. 10}$$

mit

$C_i$	Kapazität eines Nebenstroms für ein Intervall $i$	[Fz/Zeit]
$t_s$	Zeit, die ein Nebenstromfahrzeug in 1. Warte-position verbringt	[s]
$t_{s,i}$	Mittelwert der $t_s$ -Werte aller Nebenstromfahrzeuge im Intervall $i$	[s]
$t_m$	Aufrückzeit, die ein Nebenstromfahrzeug benötigt, um von der 2. in die 1. Warte-position aufzurücken	[s]

Nach WEINERT (2001) ist bei der Anwendung dieses Verfahrens zu berücksichtigen, dass sich insbesondere für kleine Betrachtungsintervalle mit einer Dauer von bis zu einer Minute starke Streuungen der ermittelten Kapazitätswerte einstellen

können. Kurze Intervalle führen demnach häufig zu Überschätzungen der Kapazitäten. Die Verwendung größerer Intervalle verringert die Streuungen der Ergebnisse und liefert damit zuverlässigere Kapazitätswerte.

### Regressionsansätze für Minikreisverkehre

Ansätze zur Überprüfung des Verkehrsablaufs an Minikreisverkehren verweisen häufig auf den pragmatischen Ansatz von SAWERS (1996). Dabei wird von einer maximalen Konfliktverkehrsstärke (Verkehrsstärke des einfahrenden Stroms zuzüglich der Verkehrsstärke des bevorrechtigten Stroms auf der Kreisfahrbahn) von 1.200 Pkw-E/h an einer Zufahrt ausgegangen:

$$C = 1200 - q_k \quad \text{Gl. 11}$$

mit

C Kapazität einer Zufahrt [Pkw-E/h]

$q_k$  Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt [Pkw-E/h]

Auch der in BRILON/WU (2008) beschriebenen Aktualisierung des Zeitlückenverfahrens für Kreisverkehre liegt für Minikreisverkehre mit einem Durchmesser von 13 m der in Gleichung 11 beschriebene Ansatz zugrunde (vgl. Kapitel 5.4.1).

Im Programm KREISEL (Version 6.1.8) wird unter Verwendung dieser Annahme ein Verfahren zur Kapazitätsbestimmung an Minikreisverkehren beschrieben (BRILON/KRAMPE, 2004). Dabei wird davon ausgegangen, dass mit zunehmendem Außendurchmesser bei etwa 25 m die Kapazität eines normalen kleinen Kreisverkehrs erreicht wird. Durch Interpolation der Kapazitäten in Abhängigkeit des Außendurchmessers ergibt sich der in Gleichung 12 beschriebene Zusammenhang, welcher der Kapazitätsbestimmung an Minikreisverkehren im Programm KREISEL (Version 6.1.8) zugrunde liegt:

$$C = 1.200 - (1,27 - 0,021 \cdot D) \cdot q_k \quad \text{Gl. 12}$$

mit

C Kapazität einer Zufahrt [Pkw-E/h]

D Außendurchmesser [m]

$q_k$  Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt [Pkw-E/h]

BÜHLMANN et al. (2007) ermittelten durch Regressionsrechnung einen linearen Zusammenhang zwischen der Kapazität einer Zufahrt und dem bevorrechtigten Verkehr im Kreis (siehe Gleichung 13). Grundlage der Regression bildeten zwölf voll ausgelastete Zeitintervalle an fünf Schweizer Kreisverkehrsanlagen mit Außendurchmessern von 16 bis 20 m.

$$C = 1097 - 0,86 \cdot q_k \quad \text{Gl. 13}$$

mit

C Kapazität einer Zufahrt [Pkw-E/h]

$q_k$  Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt [Pkw-E/h]

Nach BOVY (1991) lassen sich die Kapazitäten von einstreifigen Zufahrten an Kreisverkehren mit einstreifiger Kreisfahrbahn (Außendurchmesser von 22 bis 35 m) in Abhängigkeit des bevorrechtigten Verkehrs im Kreis und der Verkehrsstärke der Ausfahrer am betrachteten Knotenarm nach Gleichung 14 beschreiben.

$$C = 1500 - \frac{8}{9} \cdot (q_k + \alpha \cdot q_A) \quad \text{Gl. 14}$$

mit

C Kapazität einer Zufahrt [Pkw-E/h]

$q_k$  Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt [Pkw-E/h]

$q_A$  Verkehrsstärke des am betrachteten Knotenarm ausfahrenden Verkehrs [Pkw-E/h]

$\alpha$  - Faktor zur Berücksichtigung des ausfahrenden Verkehrs [-]

Die Verkehrsstärke der Ausfahrer am betrachten Knotenarm  $q_A$  setzt sich in Abhängigkeit der Anzahl der Kreisverkehrszufahrten aus verschiedenen Strömen zusammen. Während an einem vierarmigen Kreisverkehr alle ausfahrenden Fahrzeuge zusätzlich zum bevorrechtigten Verkehr im Kreis einbezogen werden, sind bei einem dreiarmligen Kreisverkehr nur die Fahrzeuge als ausfahrender Strom zu betrachten, welche in der Zufahrt davor (links liegende Zufahrt) in den Kreisverkehr eingefahren sind. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass Wendemanöver an Kreisverkehren verhältnismäßig selten auftreten und der wartende Fahrer so einschätzen kann, dass ein Fahrzeug, welches bereits an einem Knotenarm vorbei gefahren ist, am nächsten mit hoher Sicherheit ausfahren wird (BOVY, 1991).

Der Faktor  $\alpha$  zur Berücksichtigung des ausfahrenden Verkehrs wird in Abhängigkeit des Abstandes  $b$  zwischen den Konfliktpunkten C und C' der Fahrlinie des ausfahrenden bzw. einfahrenden Verkehrs nach Bild 80 bestimmt.

Mit dem Abstand  $b$  kann nach Bild 81 der in Gleichung 14 zu berücksichtigende Anteil des ausfahrenden Verkehrs ( $\alpha$ ) bestimmt werden. Beträgt die Durchschnittsgeschwindigkeit im Kreis mehr als 25 km/h, ist der Bereich hoher Geschwindigkeiten zu wählen. Der niedrigere Geschwindigkeitsbereich gilt bei einer durchschnittlichen Geschwindigkeit im Kreis von unter 20 km/h (MAURO, 2010).

Ein weiteres Regressionsverfahren, welches zur Kapazitätsbestimmung an Minikreisverkehren in Großbritannien zum Einsatz kommt, beschreibt KIMBER (1980). Auf eine Erläuterung des umfangreichen Berechnungsansatzes wird an dieser Stelle verzichtet, da bereits die Untersuchung von MAILER (1997) gezeigt hat, dass die Formel nach KIMBER für deutsche Minikreisverkehre zu unzutreffenden Kapazitäten führt.

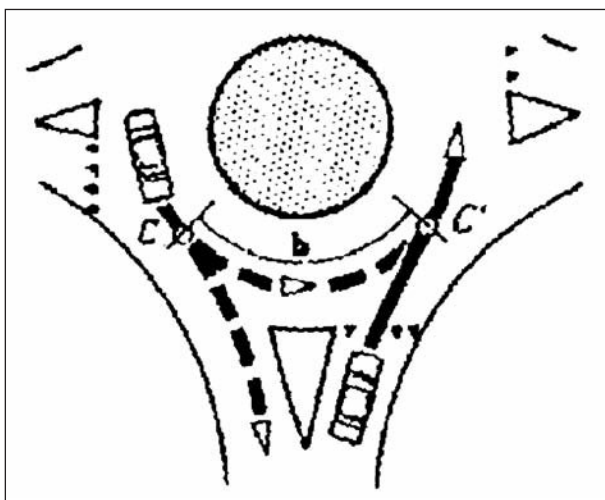


Bild 80: Bestimmung der Wegstrecke  $b$  (BOVY, 1991)

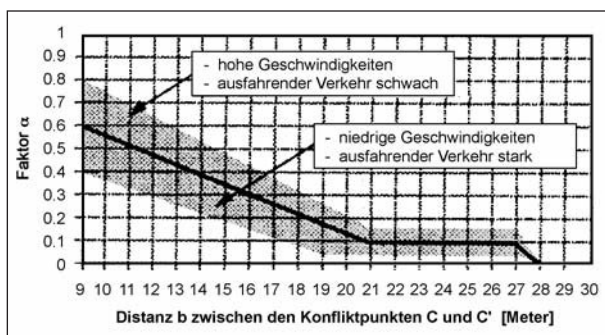


Bild 81: Ermittlung des Einflusses ausfahrender Fahrzeuge (BOVY, 1991)

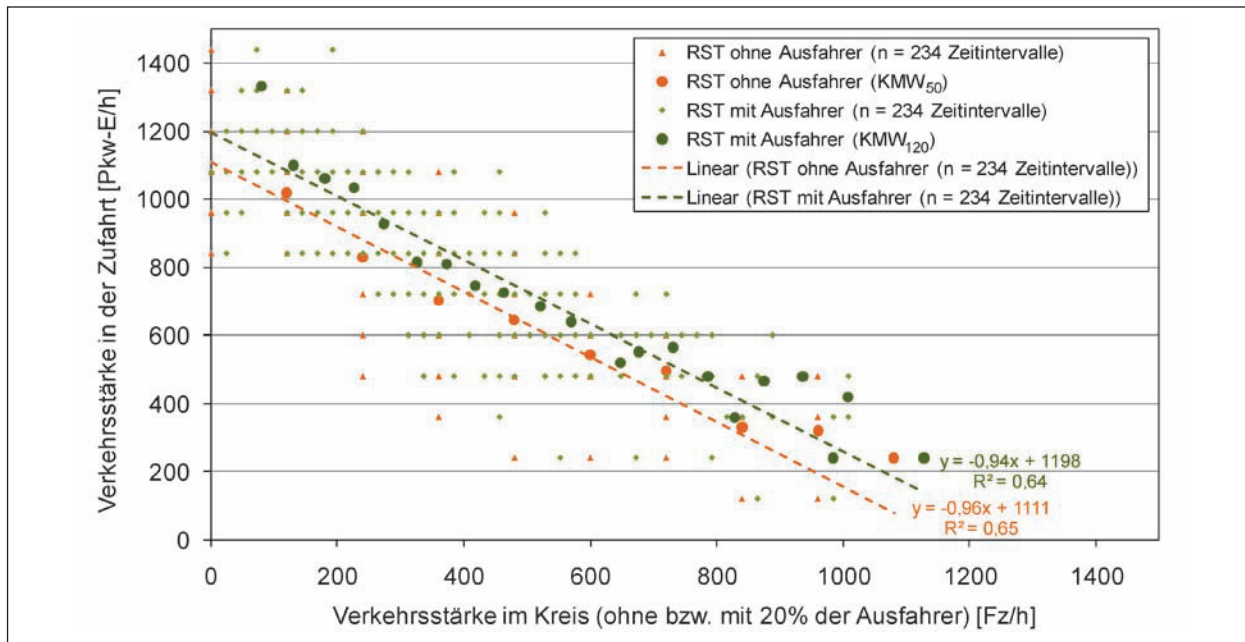
### 5.3.2 Kapazitäten für Zeitintervalle mit ständigem Rückstau

Die Auswertung der Zeitintervalle mit ständigem Rückstau erfolgte in Anlehnung an die in BRILON/GEPPERT (2010) beschriebene Methodik mit gleitenden 30s-Intervallen. Das heißt: Alle 5 s wurde überprüft, ob ein Fahrzeug am Ende des vorangegangenen Intervalls eingetroffen war, ob in den folgenden 30 s ein kontinuierlicher Rückstau vorhanden war und ob dieser auch über das betrachtete Intervall hinaus bestehen blieb. Durch diese Vorgehensweise kann die Anzahl der Intervalle mit ständigem Rückstau gegenüber der klassischen Betrachtungsweise (unabhängige 30s-Intervalle) deutlich erhöht werden. Als weiteren Vorteil dieser Methode beschreiben BRILON/GEPPERT, dass verhindert wird, dass ein überlastetes Intervall stets zur Sekunde null mit einem einfahrenden oder haltenden Fahrzeug beginnt.

Aufgrund der sich häufig bewegenden Warteschlange (kein Rückstau mit Stillstand der Fahrzeuge) konnte die in Kapitel 5.1.3 beschriebene Auswertung der Fahrzeugankünfte am Warteschlangeneende nur als bedingt zuverlässig für Rückstauaussagen angesehen werden. Daher wurde zur Überprüfung des Vorhandenseins von Rückstau in den Zeitintervallen die in BRILON/GEPPERT beschriebene Methodik verwendet:

- Für den Beginn eines potenziellen Intervalls mit ständigem Rückstau wurde geprüft, ob zwischen dem Abfließen des letzten Fahrzeugs aus der Zufahrt (Verlassen der Wartelinie) im vorangegangenen Intervall und dem Eintreffen des ersten Fahrzeugs im betrachteten Intervall an der Wartelinie eine vorgegebene maximale Bruttozeitlücke nicht überschritten wird.
- Im betrachteten Zeitintervall wurde für jedes Fahrzeug in der Zufahrt geprüft, ob zwischen dem Überfahren der Wartelinie eines Fahrzeugs und dem Eintreffen des nachfolgenden Fahrzeugs an der Wartelinie die vorgegebene maximale Bruttozeitlücke nicht überschritten wird.
- Für das letzte Fahrzeug im betrachteten Zeitintervall wurde überprüft, ob von dessen Verlassen der Wartelinie bis zum Eintreffen des ersten Fahrzeugs des nachfolgenden Zeitintervalls die definierte Bruttozeitlücke ebenfalls nicht überschritten wird.





**Bild 82:** Messwerte der Intervalle mit ständigem Rückstau (RST) und Regressionsgerade für Minikreisverkehre mit 3 Zufahrten

Waren alle drei Bedingungen erfüllt, so wurde das betrachtete Zeitintervall als Intervall mit ständigem Rückstau definiert.

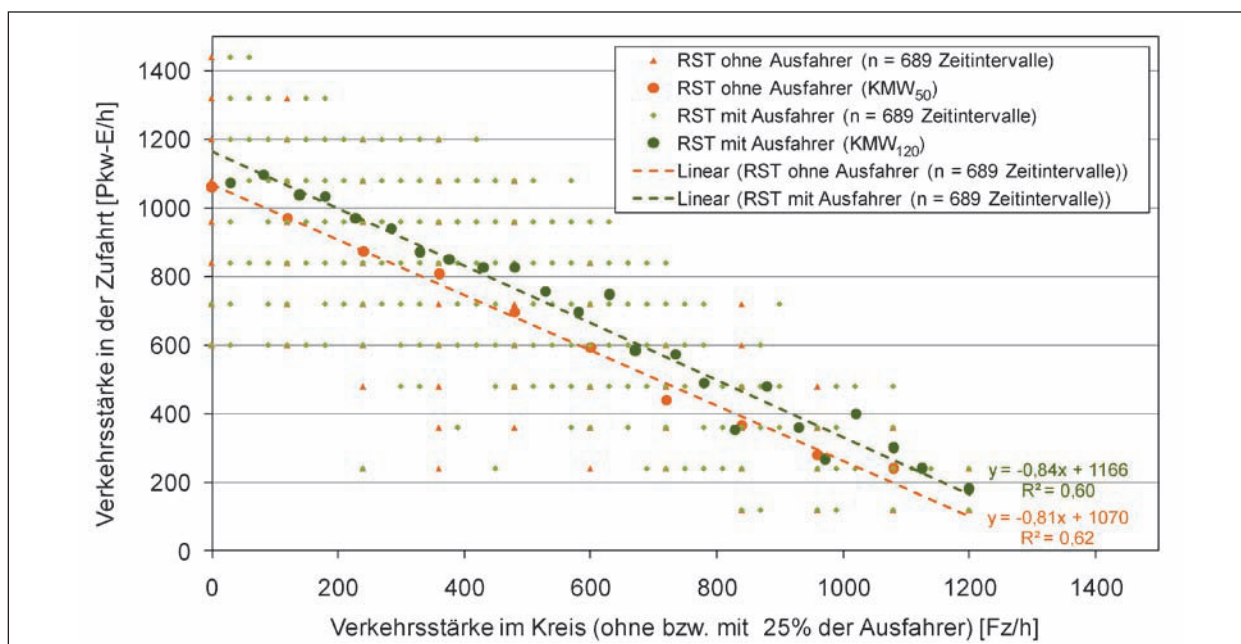
In BRILON/GEPPERT wurden die Effekte unterschiedlicher Werte für die maximale Bruttozeitlücke auf die ermittelten Kapazitäten überprüft. Dabei stellten BRILON/GEPPERT fest:

- Je größer die gewählte Bruttozeitlücke ist, umso eher wird die Kapazität unterschätzt, da dann Fahrzeuge, die sich nicht in einem direkten Rückstau befanden, mit in die Regressionsanalyse einfließen, und
- je kleiner die gewählte Bruttozeitlücke ist, umso eher wird die Kapazität überschätzt, da zunehmend Zeitintervalle, in denen Rückstau herrschte, aufgrund langsam an die Wartelinie aufrückender Fahrzeuge nicht berücksichtigt werden.

BRILON/GEPPERT überprüften weiterhin eine Unterscheidung der maximalen Bruttozeitlücke für kontinuierlich in den Knotenpunkt einführende Fahrzeuge und für Fahrzeuge, die am Knotenpunkt anhalten. Grundsätzlich beurteilten sie die Verwendung einer einheitlichen Bruttozeitlücke von 6 s als guten Kompromiss. Lediglich im Bereich geringer Verkehrsstärken im Kreis ( $< 300$  Fz/h) kann die Verwendung einer einheitlichen Bruttozeitlücke zu einer Unterschätzung der realen Kapazitäten führen, da dann in den Zeitintervallen möglicherweise kein permanenter Rückstau herrscht.

Bei der empirischen Regressionsanalyse für Zeitintervalle mit ständigem Rückstau an den hier untersuchten Minikreisverkehren wurde daher ebenfalls eine einheitliche maximale Bruttozeitlücke von 6 s als Kriterium für den Rückstau verwendet.

Die Ergebnisse sind für dreiarmlige Minikreisverkehre in Bild 82 und für vierarmige Minikreisverkehre in Bild 83 dargestellt. Neben den in Deutschland üblichen Ansätzen, bei denen ausschließlich die Fahrzeuge auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt als bevorrechtigter Verkehrsstrom betrachtet werden, sind auch Messwerte und Regressionsgeraden dargestellt, welche sich aus der zusätzlichen Berücksichtigung der Ausfahrer als Teil der bevorrechtigten Verkehrsstärke ergeben (vgl. Kapitel 5.2). Dabei ist in Bild 82 für dreiarmlige Minikreisverkehre die bevorrechtigte Verkehrsstärke im Kreis um 20 % der Ausfahrer und in Bild 83 für vierarmige Minikreisverkehre um 25 % der Ausfahrer erhöht worden. Die Höhe der Ausfahreranteile ergab sich aus den im Kapitel 5.2 beschriebenen Zusammenhängen. Neben den erhobenen Einzelwerten sind auch die über die Verkehrsstärken der bevorrechtigten Ströme klassifizierten Daten in Bild 82 und Bild 83 dargestellt. Dabei wurden für die Werte ohne Berücksichtigung des ausfahrenden Verkehrs Klassenbreiten von 120 Fz/h (KMW<sub>120</sub>) und für die Werte mit Berücksichtigung der Ausfahrer Klassenbreiten von 50 Fz/h (KMW<sub>50</sub>) verwendet. Die für KMW<sub>120</sub> und KMW<sub>50</sub> angegebenen Kapazitäten bilden Mittelwerte der jeweiligen Klassen.



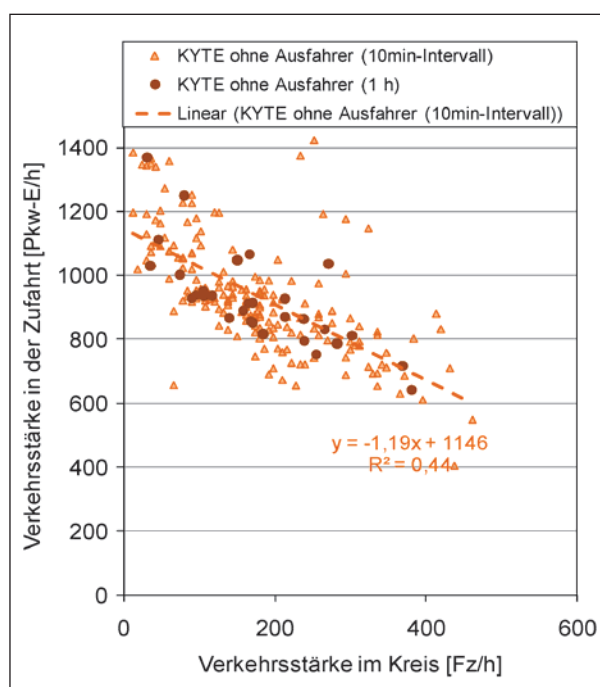
**Bild 83:** Messwerte der Intervalle mit ständigem Rückstau (RST) und Regressionsgerade für Minikreisverkehre mit 4 Zufahrten

Für die Einzelwerte sowohl ohne als auch mit Ausfahrereinfluss sind die Regressionen als lineare Funktion angegeben. Weitere Regressionsansätze werden im Kapitel 5.3.4 beschrieben.

Im Kapitel 8.7 des Berichts sind die Messwerte der Intervalle mit ständigem Rückstau für die einzelnen Messstellen einschließlich der sich daraus ergebenden Regressionsgeraden dargestellt. Diese zeigen, dass mit Ausnahme der mit wenigen Messwerten besetzten Minikreisverkehre kaum Unterschiede zwischen den beobachteten Kapazitäten der einzelnen Anlagen zu erkennen sind. Einflüsse aus geometrischen Besonderheiten der untersuchten Verkehrsanlagen (z. B. Größe des Außendurchmessers – vgl. auch Kapitel 5.4.2) scheinen somit nicht vorzuliegen. Die Abweichungen für die mit wenigen Werten besetzten Minikreisverkehre resultieren mit hoher Wahrscheinlichkeit aus den geringen Stichprobenumfängen.

### 5.3.3 Kapazitätsabschätzung nach KYTE

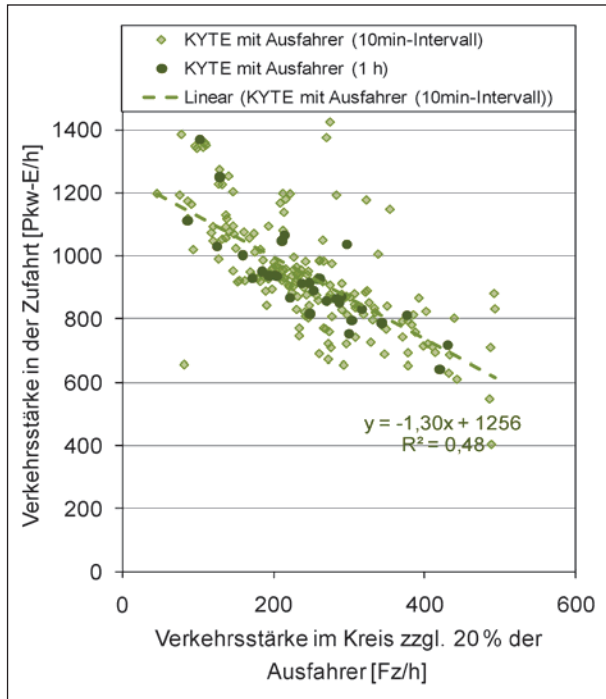
Beim Verfahren nach KYTE (1991) wurden die Wartezeiten in 1. Position ( $t_s$ ) sowie die maßgebenden Verkehrsstärken in der Kreisfahrbahn für 5-min-, 10-min- und 15-min-Intervalle bestimmt. Die Aufrückzeiten von 2. in 1. Warteposition sind zufahrtsweise über den gesamten Erhebungszeitraum (1 h) erfasst und gemittelt worden. Anschließend konnten für die Zeitintervalle die Kapazitäten für jede Zufahrt nach dem Ansatz von KYTE be-



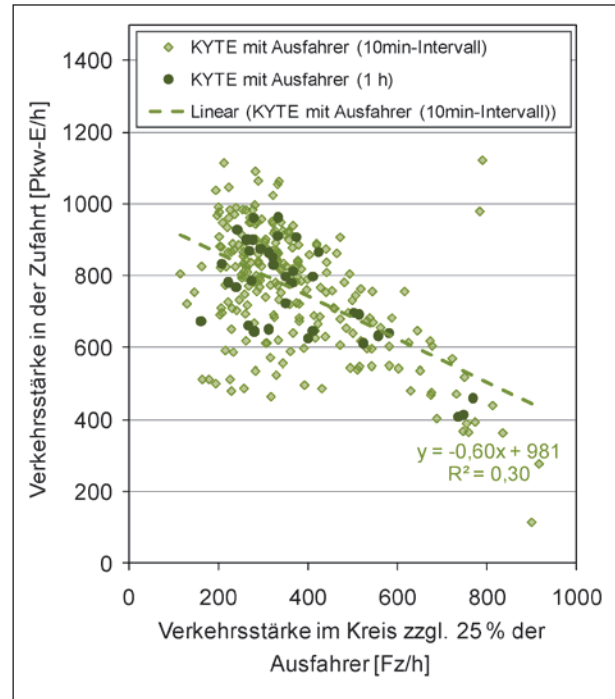
**Bild 84:** Messwerte der Kapazitätsabschätzung nach KYTE und Regressionsgerade für Minikreisverkehre mit 3 Zufahrten (ohne Ausfahrer)

rechnet und die in den Zeitintervallen erhobenen Verkehrsstärken in der Kreisfahrbahn auf Stundenwerte hochgerechnet werden.

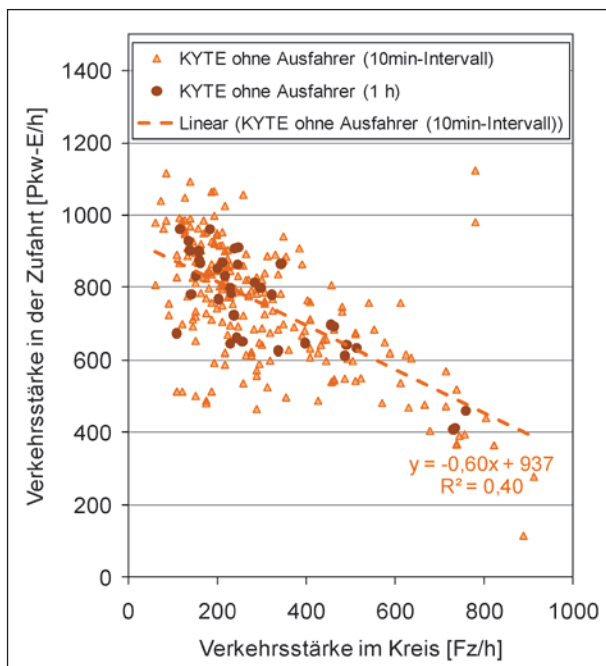
Die Ergebnisse für die Auswertung der 10-min-Intervalle und des gesamten Erhebungszeitraums sind für dreiarmlige Minikreisverkehre in Bild 84 und für vierarmige Minikreisverkehre in Bild 86 darge-



**Bild 85:** Messwerte der Kapazitätsabschätzung nach KYTE und Regressionsgerade für Minikreisverkehre mit 3 Zufahrten (mit Ausfahrer)



**Bild 87:** Messwerte der Kapazitätsabschätzung nach KYTE und Regressionsgerade für Minikreisverkehre mit 4 Zufahrten (mit Ausfahrer)



**Bild 86:** Messwerte der Kapazitätsabschätzung nach KYTE und Regressionsgerade für Minikreisverkehre mit 4 Zufahrten (ohne Ausfahrer)

stellt. Weiterhin sind in Bild 85 und Bild 87 die nach dem Ansatz von KYTE ermittelten Kapazitäten unter Berücksichtigung der Ausfahrer dargestellt. Dabei ist die bevorzugte Verkehrsstärke im Kreis für dreiarmlige Minikreisverkehre um 20 % der Ausfahrer (Bild 85) und für vierarmige Minikreisver-

kehre um 25 % der Ausfahrer (Bild 87) erhöht worden. Die Höhe der Ausfahrerteile ergab sich aus den im Kapitel 5.2 beschriebenen Zusammenhängen. Für die Einzelwerte der 10-min-Intervalle sowohl ohne als auch mit Ausfahrereinfluss sind die Regressionen als lineare Funktion angegeben. Weitere Regressionsansätze werden im Kapitel 5.3.4 beschrieben.

### 5.3.4 Regressionsrechnung

Auf Basis der für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau (RST) sowie nach dem Verfahren von KYTE ermittelten empirischen Kapazitäten wurden Regressionsrechnungen mit und ohne Berücksichtigung der Ausfahrer durchgeführt. Dafür wurden lineare (Gleichung 15) und exponentielle (Gleichung 16) Regressionsansätze verwendet.

$$C = a - b \cdot q_p \tag{Gl. 15}$$

$$C = a \cdot e^{-b \cdot q_p} \tag{Gl. 16}$$

mit

C Kapazität der Zufahrt [Pkw-E/h]

a, b Regressionsparameter [-]

$q_p$  Verkehrsstärke des bevorzugten Stroms [Fz/h]

Für den Fall der Berücksichtigung der Ausfahrer ergab sich die Verkehrsstärke des bevorrechtigten Stroms nach Gleichung 17:

$$q_p = q_k + \alpha \cdot q_A \quad \text{Gl. 17}$$

mit

$q_p$  Verkehrsstärke des bevorrechtigten Stroms [Fz/h]

$q_k$  Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt [Fz/h]

$q_A$  Verkehrsstärke der Ausfahrer am betrachteten Knotenarm [Fz/h]

$\alpha$  Faktor zur Berücksichtigung des ausfahrenden Verkehrs (bei dreiarmligen Kreisverkehren  $\alpha_3 = 0,2$ , bei vierarmigen Kreisverkehren  $\alpha_4 = 0,25$  – vgl. Kapitel 5.2) [-]

Es ergaben sich die in Tabelle 30 und Tabelle 31 aufgeführten Parameter sowie Bestimmtheitsmaße  $R^2$  für die ermittelten Regressionsgleichungen. Weiterhin sind die absoluten Fehlermaße zwischen den Regressionsgleichungen und den empirischen Daten als Wurzel der mittleren quadrierten Abweichung (RMSE) in den Tabellen dargestellt. Da eine Verwendung der RMSE als Gütemaße für die ermittelten Regressionsgleichungen nur zielführend ist, wenn der Ermittlung der RMSE eine einheitliche empirische Datengrundlage zugrunde gelegt wird, wurden bei der Ermittlung der RMSE sowohl die für Zeitintervalle mit ständigem Rückstau als auch die nach dem Verfahren von KYTE empirisch erhobenen Kapazitäten verwendet (siehe Gleichung 18).

$$RMSE = \left( \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N [C_{ber}(q_{p,n}) - C_{erh}(q_{p,n})]^2} + \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{n=1}^M [C_{ber}(q_{p,n}) - C_{erh}(q_{p,n})]^2} \right) \cdot \frac{1}{2} \quad \text{Gl. 18}$$

mit

RMSE Rout Mean Square Error [Pkw-E/h]

N Anzahl der Intervalle mit ständigem Rückstau (RST) [-]

M Anzahl der nach dem Verfahren von KYTE erhobenen Messwerte [-]

$C_{ber}$  auf Basis der Regressionsgleichungen berechnete Kapazitäten [Pkw-E/h]

$C_{erh}$  erhobene Kapazitäten (RST und KYTE) [Pkw-E/h]

$q_{p,n}$  Verkehrsstärke des bevorrechtigten Stroms im Intervall n

Die Bestimmtheitsmaße der auf Basis der nach dem Verfahren von KYTE für 10-min-Intervalle abgeschätzten Kapazitäten zeigten für die unterschiedlichen Regressionsansätze grundsätzlich die niedrigsten Werte. Die auf Basis der Intervalle mit ständigem Rückstau (RST) vorgenommenen Regressionsrechnungen wiesen hingegen deutlich höhere Bestimmtheitsmaße auf. Bei Betrachtung der absoluten Fehlermaße in Form der RSME in Tabelle 30 ist aber zu erkennen, dass die Anpassungsgüte der auf Basis der KYTE-Daten sowie der auf Basis Rückstauintervalle ermittelten Regressionsgleichungen in etwa übereinstimmen. Bei den dreiarmligen Minikreisverkehren beschreibt der exponentielle Regressionsansatz die Zusammenhänge zwischen Kapazität und bevorrechtigter Verkehrsstärke besser als der lineare Regressionsansatz (geringere RMSE). Bei den vierarmigen Minikreisverkehren sind keine nennenswerten Unterschiede in der Anpassungsgüte der linearen und exponentiellen Regressionsansätze zu erkennen.

Die Gegenüberstellung der Bestimmtheitsmaße der Regressionsansätze mit Berücksichtigung der Ausfahrer in Tabelle 31 zeigt ebenfalls für die auf Basis der Kyte-Werte bestimmten Regressionsgleichungen die geringsten Bestimmtheitsmaße. Im Gegensatz zu den Betrachtungen ohne Ausfahrereinfluss ist hier aber für die Kyte-Werte an dreiarmligen Minikreisverkehren auch eine schlechtere Anpassung des linearen und exponentiellen Regressionsansatzes an die erhobenen Werte zu erkennen. Dies belegen die um 22 Pkw-E/h bzw. 3 Pkw-E/h höheren RMSE in Tabelle 31. Bei den vierarmigen Minikreisverkehren mit Ausfahrereinfluss sind keine Unterschiede in der Anpassungsgüte zwischen den auf Basis der Kyte-Werte und den auf Basis der Rückstauintervalle bestimmten Regressionsgleichungen zu erkennen.

Die Gegenüberstellung der Regressionsansätze mit und ohne Berücksichtigung des Ausfahrereinflusses (Tabelle 30 und Tabelle 31) zeigte für dreiarmlige Minikreisverkehre die beste Anpassung für die auf Basis der Rückstauintervalle ermittelten exponentiellen Regressionsansätze, wobei die RMSE für die Modelle mit und ohne Berücksichtigung der Ausfahrer nahezu übereinstimmen (148 bzw. 149 Pkw-E/h). Für vierarmige Minikreisverkehre erga-

emp. Verfahren		a	b	R <sup>2</sup>	RMSE
lineare Reg.	RST (dreiarmlig)	1.111	0,96	0,649	153
	KYTE (dreiarmlig)	1.146	1,19	0,443	158
	RST (vierarmig)	1.070	0,81	0,624	161
	KYTE (vierarmig)	937	0,60	0,399	161
exp. Reg.	RST (dreiarmlig)	1.161	0,0014	0,663	148
	KYTE (dreiarmlig)	1.163	0,0013	0,478	148
	RST (vierarmig)	1.134	0,0013	0,636	162
	KYTE (vierarmig)	990	0,0010	0,437	161

**Tab. 30:** Parameter, Bestimmtheitsmaße und Root Mean Square Error (RMSE) der Regressionsrechnung (ohne Ausfahrereinfluss)

ben sich bei Berücksichtigung des Ausfahrereinflusses um 12 bis 14 Pkw-E/h höhere RMSE als ohne deren Berücksichtigung, wobei kaum Unterschiede zwischen den linearen und exponentiellen Regressionsansätzen zu beobachten waren. Die höheren RMSE für die Regressionsgleichungen mit Berücksichtigung des Ausfahrereinflusses müssen aber nicht zwangsläufig auf eine schlechtere Anpassung der Regressionsgleichungen hindeuten, sondern sind vermutlich auf die größere Streuung der unter Berücksichtigung des Ausfahrereinflusses erhobenen Kapazitätswerte zurückzuführen.

Da ein Großteil der für die Intervalle mit ständigem Rückstau erhobenen Kapazitätswerte im Verkehrsstärkebereich von 200 bis 700 Fz/h im bevorrechtigten Strom lagen, wurde weiterhin überprüft, inwieweit diese die in Tabelle 30 und Tabelle 31 angegebenen Regressionsergebnisse beeinflussen. Dazu wurden weitere Regressionsrechnungen für die in Bild 82 und Bild 83 dargestellten klassifizierten Werte durchgeführt. Dabei wurde sich auf den exponentiellen Regressionsansatz beschränkt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 32 dargestellt.

Aufgrund der geringeren Streuung der klassifizierten Werte ergaben sich höhere Bestimmtheitsmaße und niedrigere RMSE für diese Regressionsgleichungen. Die Parameter der Regressionsgleichungen zeigen jedoch, dass sich die Funktionsverläufe insbesondere im Bereich hoher Verkehrsstärken im bevorrechtigten Strom kaum von den Funktionen unterscheiden, die auf Basis der Einzelwerte ermittelt wurden. Deshalb wurden für die weiteren Analysen die auf Basis der Einzelwerte ermittelten Re-

emp. Verfahren		a	b	R <sup>2</sup>	RMSE
lineare Reg.	RST (dreiarmlig)	1.198	0,94	0,642	154
	KYTE (dreiarmlig)	1.256	1,30	0,484	172
	RST (vierarmig)	1.166	0,84	0,604	173
	KYTE (vierarmig)	981	0,60	0,303	173
exp. Reg.	RST (dreiarmlig)	1.306	0,0013	0,636	149
	KYTE (dreiarmlig)	1.309	0,0014	0,507	152
	RST (vierarmig)	1.312	0,0013	0,590	176
	KYTE (vierarmig)	1.076	0,0010	0,350	175

**Tab. 31:** Parameter, Bestimmtheitsmaße und Root Mean Square Error (RMSE) der Regressionsrechnung (mit Ausfahrereinfluss)

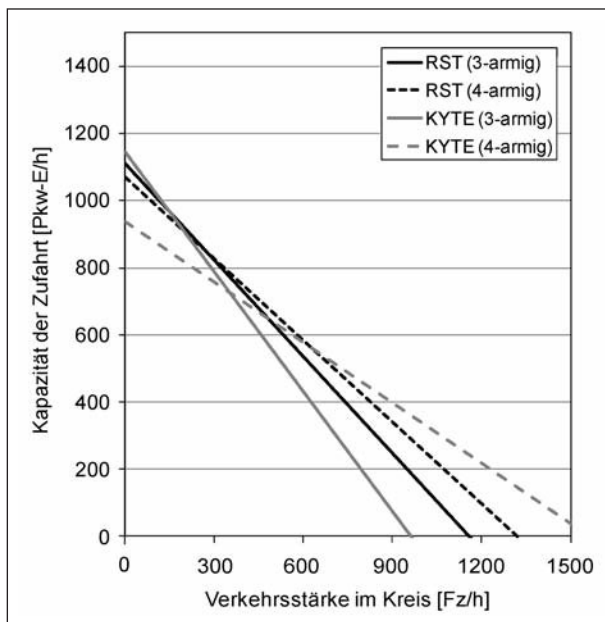
emp. Verfahren		a	b	R <sup>2</sup>	RMSE
exp. Reg.	dreiarmlig ohne Ausf.	1.230	0,0014	0,976	34
	vierarmig ohne Ausf.	1.257	0,0015	0,970	78
	dreiarmlig mit Ausf.	1.395	0,0014	0,913	56
	vierarmig mit Ausf.	1.411	0,0014	0,910	98

**Tab. 32:** Parameter, Bestimmtheitsmaße und Root Mean Square Error (RMSE) der exponentiellen Regressionsgleichungen für die klassifizierten Kapazitätswerte der Zeitintervalle mit ständigem Rückstau

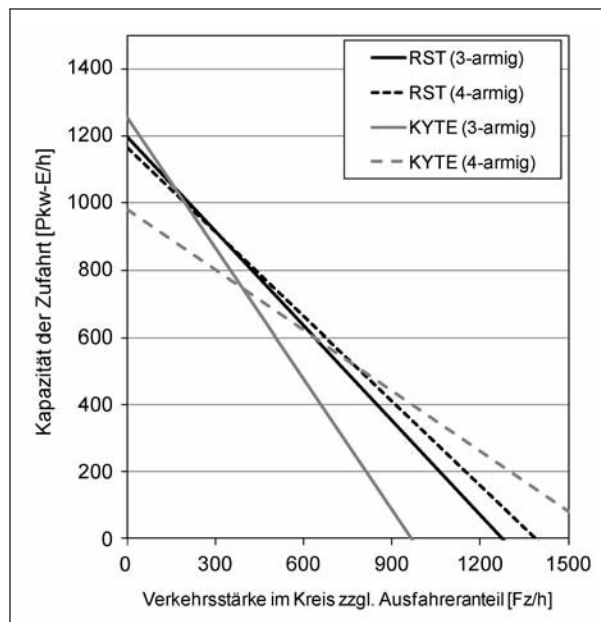
gressionsgleichungen nach Tabelle 30 und Tabelle 31 verwendet.

In Bild 88 bis Bild 91 sind die im Rahmen der Regressionsanalyse abgeleiteten funktionalen Zusammenhänge grafisch dargestellt. In allen vier Abbildungen ist zu erkennen, dass die auf Basis der Kyte-Werte für vierarmige Minikreisverkehre bestimmten Regressionsgleichungen deutlich von den übrigen Funktionen abweichen. Aufgrund der Lage dieser Kapazitätswerte (wenig realistische Achsschnittpunkte) muss davon ausgegangen werden, dass die durch das Verfahren nach KYTE für vierarmige Minikreisverkehre ermittelte Datengrundlage nicht ausreicht, um plausible Regressionsgleichungen zu erstellen. Dies belegen auch die niedrigen Bestimmtheitsmaße für diese Regressionsgleichungen (vgl. Tabelle 30 und Tabelle 31).

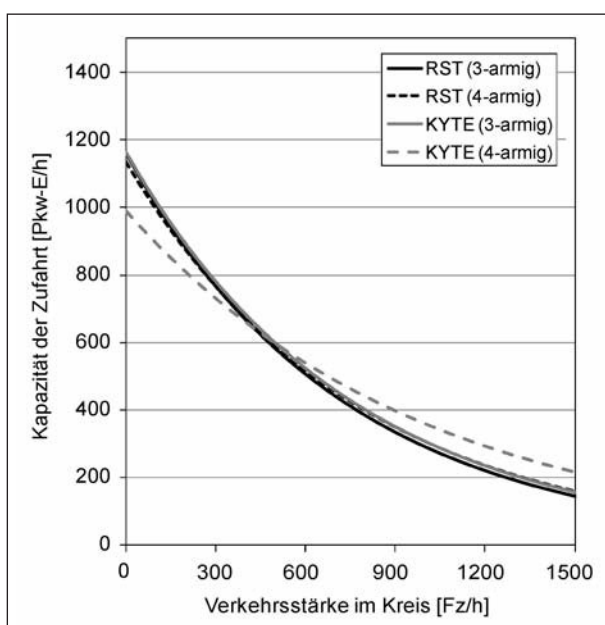
Werden ausschließlich die auf Basis der Zeitintervalle mit ständigem Rückstau ermittelten Kapazitätswerte betrachtet, zeigt sich, dass die Anzahl der Knotenpunktarme kaum Einfluss auf die beobachteten Kapazitäten hat. Bei den exponen-



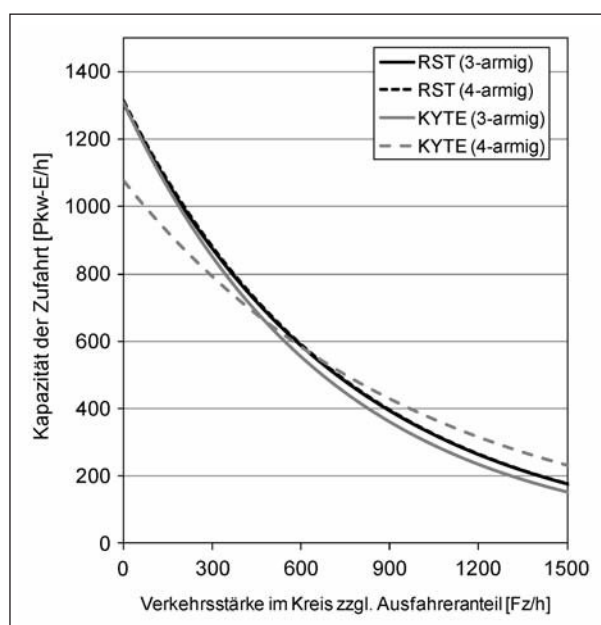
**Bild 88:** Lineare Regressionsfunktionen ohne Berücksichtigung der Ausfahrer



**Bild 90:** Lineare Regressionsfunktionen mit Berücksichtigung der Ausfahrer



**Bild 89:** Exponentielle Regressionsfunktionen ohne Berücksichtigung der Ausfahrer



**Bild 91:** Exponentielle Regressionsfunktionen mit Berücksichtigung der Ausfahrer

tiellen Regressionsansätzen (Bild 89 und Bild 91), weisen die Kapazitätsfunktionen für drei- und vierarmige Minikreisverkehre nahezu identische Verläufe auf. Dies gilt sowohl für die Betrachtung mit als auch ohne Ausfahrer. Vergleichbare Erkenntnisse ergeben sich auch für die linearen Regressionsansätze in Bild 88 und Bild 90.

Obwohl die RMSE der exponentiellen Regressionsansätze unter (dreiarmlige Minikreisverkehre) bzw. auf einen vergleichbaren Niveau (vierarmige Mini-

kreisverkehre) wie die der linearen Regressionsansätze lagen, ist der Verlauf der exponentiellen Regressionsfunktionen im Bereich sehr hoher bevorrechtigter Verkehrsstärken als kritisch einzustufen. Diese zeigen, dass Minikreisverkehrszufahrten auch bei bevorrechtigten Verkehrsstärken von 1.200 Fz/h noch Leistungsfähigkeiten von über 200 Fz/h aufweisen. Da für hohe bevorrechtigte Verkehrsstärken (> 1.000 Fz/h) aber keine belastbaren Daten vorliegen, werden die exponentiellen Regressionsansätzen nicht zur allgemeinen An-

wendung empfohlen. Die linearen Regressionsgleichungen weisen hingegen im Bereich hoher bevorrechtigter Verkehrsstärken einen realistischeren Verlauf auf und erscheinen damit besser geeignet.

**5.3.5 Lineare Mehrfachregression**

Mit Hilfe der linearen Mehrfachregression wurde überprüft, welcher lineare Zusammenhang zwischen der Zufahrtskapazität von Minikreisverkehren und der Verkehrsstärke im Kreis sowie den am selben Knotenarm ausfahrenden Verkehr besteht. Dazu wurde Gleichung 19 verwendet:

$$C = a + b \cdot p_k + c \cdot p_A \tag{Gl. 19}$$

mit

- C Kapazität der Zufahrt [Pkw-E/h]
- a, b, c Regressionsparameter [-]
- q<sub>k</sub> Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt [Fz/h]
- q<sub>A</sub> Verkehrsstärke der Ausfahrer am betrachteten Knotenarm [Fz/h]

Ausgehend von Gleichung 19 ergibt sich der aus der Mehrfachregression ableitbare Ausfahrereinfluss α<sub>MFR</sub> aus den Regressionsparametern b und c zu:

$$\alpha_{MFR} = \frac{c}{b} \tag{Gl. 20}$$

mit

α<sub>MFR</sub> aus der Mehrfachregression abgeleiteter Faktor zur Berücksichtigung des ausfahrenden Verkehrs [-]

b, c Regressionsparameter [-]

Die Ermittlung der Regressionsparameter erfolgte auf Basis der für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau erhobenen Werte (Kapazität der Zufahrt, Verkehrsstärke im Kreis vor der betrachteten Zufahrt sowie Verkehrsstärke der Ausfahrer am betrachteten Knotenarm) mit dem Statistikprogramm SPSS Statistics. Dabei wurden Regressionen für die erhobenen Werte der Einzelanlagen differenziert für dreiarmige sowie für vierarmige Minikreisverkehre erhobenen Werte und über alle erhobenen Werte gerechnet. Die Ergebnisse der Regressionsrechnung sind in Form der Regressionsparameter, der Gütemaße Bestimmtheitsmaß R<sup>2</sup> und RMSE sowie des nach Gleichung 20 aus den Regressionsparametern bestimmten Ausfahrereinflusses α<sub>MFR</sub> in Tabelle 33 angegeben.

Bei allen Regressionsrechnungen waren die Regressionsparameter für die Ausfahrer c signifikant, womit von einem grundsätzlichen Einfluss der am betrachteten Knotenarm ausfahrenden Fahrzeuge ausgegangen werden kann.

Die über alle Zeitintervalle mit ständigem Rückstau für drei- und vierarmige Minikreisverkehre ermittelte Mehrfachregression ergab einen Ausfahrereinfluss

Datengrundlage	Regressionsparameter			Gütemaße		Ausfahrereinfluss
	a	b	c	R <sup>2</sup>	RMSE	α <sub>MFR</sub>
alle drei- und vierarmige Minikreisverkehre	1.111	-0,855	-0,062	0,630	167	7 %
alle dreiarmigen Minikreisverkehre	1.149	-0,960	-0,075	0,654	163	8 %
alle vierarmigen Minikreisverkehre	1.096	-0,824	-0,051	0,626	168	6 %
Stendal (vierarmig)	1.178	-0,826	-0,175	0,564	153	21 %
Villingen-Schwenningen (dreiarmig)	1.264	-1,092	-0,228	0,812	132	21 %
Niederolm (vierarmig)	774	-0,496	-0,168	0,249	124	34 %
Siegburg I (dreiarmig)	1.267	-1,195	-0,297	0,389	203	25 %
Siegburg II (dreiarmig)	1.159	-1,254	0,274	0,753	186	-22 %
Greven (vierarmig)	1.202	-0,944	-0,140	0,510	167	15 %
Hagen (dreiarmig)	1.123	-0,782	-0,156	0,609	118	20 %
Aspensen (vierarmig)	1.067	-0,802	-0,031	0,716	160	4 %
Harsefeld (dreiarmig)	1.103	-0,854	-0,056	0,576	144	7 %

**Tab. 33:** Parameter, Bestimmtheitsmaße, Root Mean Square Error (RMSE) und Ausfahrereinfluss α<sub>MFR</sub> der Mehrfachregression für die Kapazitätswerte der Zeitintervalle mit ständigem Rückstau

von 7 %. Die getrennte Betrachtung der drei- bzw. vierarmigen Minikreisverkehre führte zu Ausfahrereinflüssen von 8 % bzw. 6 %. Die für die einzelnen Messstellen berechneten Mehrfachregressionen ergaben Einflussfaktoren  $\alpha_{\text{MFR}}$  von -22 % bis 34 %. Ein kapazitätserhöhender (negativer) Ausfahrereinfluss war dabei lediglich für die Messstelle Siegburg II zu beobachten. Im Mittel betrug der aus den Mehrfachregressionen der Einzelanlagen bestimmte Ausfahrereinfluss  $\alpha_{\text{MFR}} = 14$  %. Der Unterschied zwischen diesem Mittelwert und dem über alle Zeitintervalle mit ständigem Rückstau für drei- und vierarmige Minikreisverkehre ermittelte Ausfahrereinfluss ( $\alpha_{\text{MFR}} = 7$  %) ist dadurch zu erklären, dass

- bei Mittelung der Ausfahrereinflüsse über die Einzelanlagen jede Messstelle mit dem gleichen Gewicht eingeht,
- bei der Regression über alle Zeitintervalle Minikreisverkehre, für die viele Zeitintervalle mit ständigem Rückstau beobachtet werden konnten, stärker eingehen als die Minikreisverkehre mit wenigen Rückstauintervallen. Somit werden in diesem Fall die geometrischen Besonderheiten der höher belasteten Minikreisverkehre mit vermehrtem Rückstau stärker gewichtet.

Im Ergebnis sollte daher der über die Regressionen der Einzelanlagen als Mittelwert bestimmte Einflussfaktor  $\alpha \approx 15$  % als Orientierungswert für den

Ausfahrereinfluss angesehen werden. Der durch die lineare Mehrfachregression bestimmte Faktor zur Berücksichtigung der Ausfahrer liegt somit 7 % unter dem anhand der Videoauswertungen empirisch ermittelten Wert (vgl. Tabelle 29). Eine Ursache für diese Abweichung kann u. a. auf subjektive Einschätzungen des Messpersonals bei dem in Kapitel 5.2.3 beschriebenen Vorgehen zurückgeführt werden.

### 5.3.6 Fazit

Aufgrund des nach Kapitel 5.2 und 5.3.5 ermittelten Einflusses ausfahrender Fahrzeuge und der Ergebnisse der Regressionsrechnung sollten die linearen Regressionsgleichungen mit Berücksichtigung der Ausfahrer zur Kapazitätsermittlung an Minikreisverkehren verwendet werden. Auf eine Differenzierung nach drei- und vierarmigen Minikreisverkehren kann aufgrund der vergleichsweise geringen Unterschiede (vgl. Bild 90) verzichtet werden. Der Ausfahrereinfluss  $\alpha$  wird in diesem Fall mit 15 % angesetzt (vgl. Kapitel 5.3.5).

Für diese Randbedingungen wurde eine lineare Regression über alle für die Intervalle mit ständigem Rückstau erhobenen Kapazitäten (Einzelwerte für drei- und vierarmige Minikreisverkehre) gerechnet. Die Ergebnisse sind in Bild 92 einschließlich der empfohlenen Regressionsgleichung dargestellt.

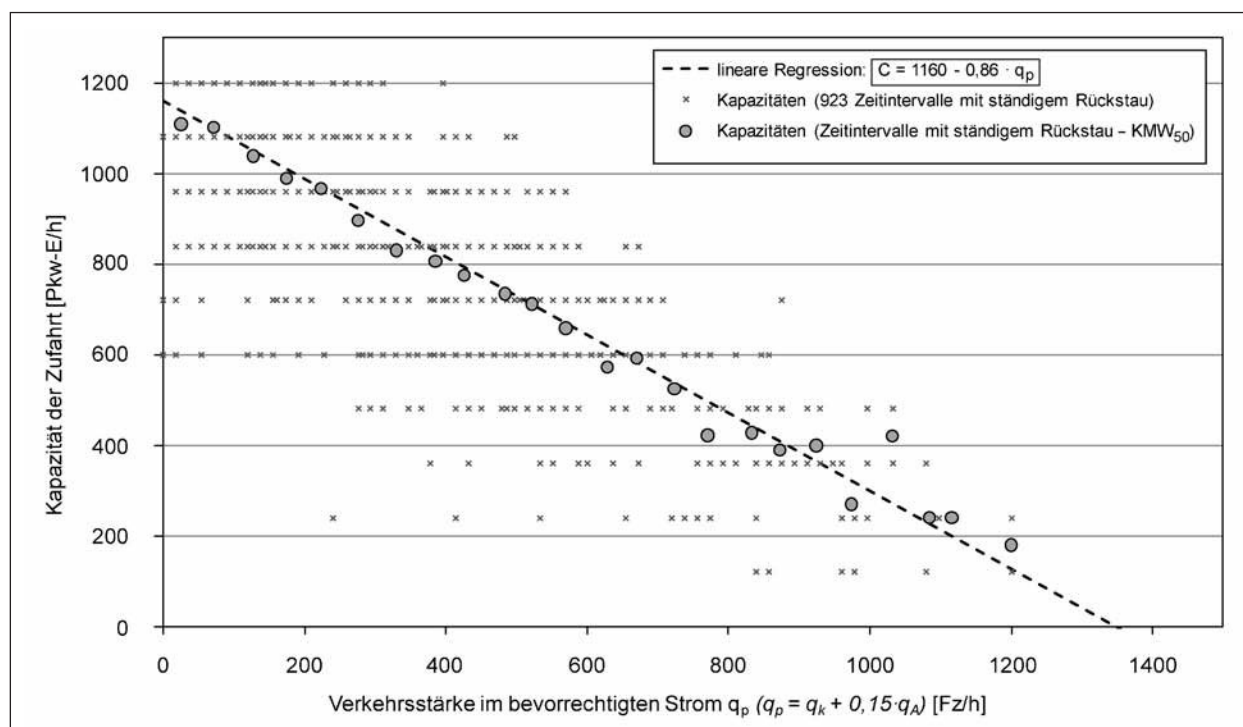


Bild 92: Regressionsansatz für drei- und vierarmige Minikreisverkehre mit Berücksichtigung von 15 % der Ausfahrer ( $\alpha = 0,15$ )



Beim Vergleich mit den Einzelwerten der Zeitintervalle mit ständigem Rückstau ergeben sich für die Regressionsgleichung ein Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,63$  und ein RMSE = 169 Pkw-E/h. Bei Betrachtung der klassifizierten Mittelwerte ( $KMW_{50}$ ) betragen das Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,98$  und der RMSE = 43 Pkw-E/h.

## 5.4 Zeitlückentheorie

### 5.4.1 Theoretische Grundlagen

Die im HBS (2001) beschriebene auf der Zeitlückentheorie basierende Grundkapazitätsformel für Kreisverkehre (Gleichung 22) basiert auf der Veröffentlichung von WU (1997). Grundlage der von WU hergeleiteten Berechnungsvorschrift bilden die Kapazitätsformeln von TANNER (1967) und JACOBS (1979), welche eine theoretische Beschreibung der Zeitlückenverteilung im bevorrechtigten Hauptstrom auch bei nicht zufälligem Verkehrsfluss (gepulkten Fahrzeugankünften) erlauben. Dies erfolgt durch eine Rechtsverschiebung der von vorfahrtgeregelten Knotenpunkten bekannten negativen Exponentialverteilung der Zeitlücken im bevorrechtigten Strom (SIEGLOCH, 1973 – siehe Gleichung 21).

$$G = \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{q_k}{3600} \cdot (t_g \cdot \frac{t_f}{2})} \quad \text{Gl. 21}$$

$$G = \left(1 - \frac{t_{\min} \cdot q_k}{3600}\right) \cdot \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{q_k}{3600} \cdot (t_g \cdot \frac{t_f}{2} - t_{\min})} \quad \text{Gl. 22}$$

mit

G Grundkapazität der betrachteten Zufahrt [Pkw-E/h]

$q_k$  Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt [Pkw-E/h]

$t_{\min}$  Mindestzeitlücke zwischen den Fz im Kreis nach Gleichung 23 [s]

$t_g$  Grenzzeitlücke nach Gleichung 23 [s]

$t_f$  Folgezeitlücke nach Gleichung 23 [s]

BRILON/WU (2008) beschreiben anhand der von STUWE (1992) an Kreisverkehren gemessenen Grenz- und Folgezeitlücken Interpolationsformeln zur Ermittlung der Zeitbedarfswerte  $t_g$ ,  $t_f$  und  $t_{\min}$  in Abhängigkeit des Außendurchmessers D eines Kreisverkehrs (vgl. Gleichung 23). Die vom Außendurchmesser D abhängigen Zeitbedarfswerte er-

lauben nach BRILON/WU auch die zufahrtsweise Kapazitätsbestimmung von Minikreisverkehren nach Gleichung 22.

$$\begin{aligned} t_g &= 3,86 + \frac{8,27}{D} \\ t_f &= 2,84 + \frac{2,07}{D} \\ t_{\min} &= 1,57 + \frac{18,6}{D} \end{aligned} \quad \text{Gl. 23}$$

mit

D Außendurchmesser des Kreisverkehrs (für  $D > 40$  m ist  $D = 40$  m anzusetzen) [m]

Nach BRILON et al. (1994) können querende Fußgänger in den Zufahrten die Kapazität der Anlage, insbesondere bei Vorrang durch Fußgängerüberwege, beeinflussen. Um diese Beeinträchtigungen zu berücksichtigen, wird nach HBS (2001) empfohlen, die Grundkapazität mit einem Faktor abzumindern:

$$C = G \cdot f_f \quad \text{Gl. 24}$$

mit

C Kapazität einer Kreisverkehrszufahrt mit Berücksichtigung der Abminderung durch Fußgänger [Pkw-E/h]

G Grundkapazität der Kreisverkehrszufahrt nach Gleichung 22 [Pkw-E/h]

$f_f$  Abminderungsfaktor zu Berücksichtigung des Einflusses der Fußgänger [-]

Der Abminderungsfaktor  $f_f$  kann in Abhängigkeit der Fußgängerverkehrsstärke  $q_{Fg}$  und der maßgebenden Hauptstrombelastung  $q_k$  nach BRILON et al. (1994) wie folgt berechnet werden:

$$f_f = \frac{1119,5 - 0,715q_k - 0,644q_{Fg} + 0,00073q_k \cdot q_{Fg}}{1068,6 - 0,654q_k} \quad \text{Gl. 25}$$

mit

$q_k$  Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt (für  $q_k > 900$  Pkw-E/h gilt  $f_f = 1$ ) [Pkw-E/h]

$q_{Fg}$  Verkehrsstärke des Fußgängerstroms, der die betrachtete Zufahrt quert (für  $q_{Fg} < 100$  Fg/h gilt  $f_f = 1$ ) [Fg/h]

Es wird davon ausgegangen, dass ab einer maßgebenden Hauptstrombelastung  $q_k$  von etwa 900 Pkw-E/h die Fahrmöglichkeiten der zufahrenden



tion mit Hilfe der Solver-Funktion im Programm Excel. Dabei werden die Parameter  $\mu$  und  $\sigma$  der Verteilungsfunktion  $F$  in einem iterativen Prozess so lange variiert, bis der Wert der logarithmierten Likelihood-Funktion  $L$  sein Maximum erreicht hat.

Die mittlere Grenzzeitlücke  $t_g$  ergibt sich dann nach Gleichung 28 aus dem Erwartungswert  $m$  der Log-Normalverteilung der Grenzzeitlücken in Abhängigkeit der Parametern  $\mu$  und  $\sigma$ :

$$m = e^{\mu + 0,5 \cdot \sigma^2} \quad \text{Gl. 28}$$

In Anlehnung an WEINERT (2001) wurden für die Bestimmung der Grenzzeitlücken ausschließlich die gaps betrachtet, also Zeitlücken zwischen Hauptstromfahrzeugen bei gleichzeitiger Anwesenheit eines Nebenstromfahrzeugs. Die Restzeitlücken (lags), welche die Zeitlücken zwischen der Ankunftszeit eines Nebenstromfahrzeugs in erster Position und dem ersten Hauptstromfahrzeug beschreiben, wurden nicht berücksichtigt. Weiterhin wurde die Festlegung eines Maximalwertes für die angenommene Zeitlücke von WEINERT übernommen. Dabei wurde in der vorliegenden Untersuchung eine Zeitlücke von 13 s als Obergrenze verwendet. Diese Festlegung kann als unkritisch im Bezug auf die ermittelten Grenzzeitlücken angesehen werden, da BRILON/GEPPELT (2010) bei der Untersuchung von Grenzzeitlücken an zweistreifigen Kreisverkehren nachwies, dass diese Obergrenze erst bei Werten  $\leq 9$  s zu Veränderungen der ermittelten Grenzzeitlücke führt.

In der vorliegenden Untersuchung zeigte sich ein maßgeblicher Effekt der am betrachteten Knotenarm ausfahrenden Fahrzeuge auf die ermittelten Grenzzeitlücken. Der vergleichsweise starke Einfluss ausfahrender Fahrzeuge ist auf die kurzen Abstände zwischen dem Verzweigungspunkt der Ausfahrt und dem Konfliktpunkt in der Einfahrt bei Minikreisverkehren zurückzuführen (vgl. auch Kapitel 5.2). Zur Berücksichtigung dieses Einflusses wurden drei unterschiedliche Ansätze zur Ermittlung der größten abgelehnten und angenommenen Zeitlücken verwendet:

(1) Es wurden nur die bevorrechtigten Hauptstromfahrzeuge im Kreis berücksichtigt. Zwischen den bevorrechtigten Hauptstromfahrzeugen ausfahrende Fahrzeuge wurden bei der Ermittlung der größten abgelehnten und angenommenen Zeitlücken als nicht vorhanden angesehen.

(2) Es wurden die bevorrechtigten Hauptstromfahrzeuge im Kreis und alle Ausfahrer berücksichtigt. Ausfahrende Fahrzeuge wurden bei der Ermittlung der größten abgelehnten und angenommenen Zeitlücken wie bevorrechtigte Hauptstromfahrzeuge behandelt.

(3) Es wurden nur die von Ausfahrern unbeeinflussten Zeitlücken zwischen bevorrechtigten Hauptstromfahrzeugen im Kreis berücksichtigt [Teilmenge von (1)]. Das heißt: Alle Konstellationen, bei denen sich ein ausfahrendes Fahrzeug zwischen zwei bevorrechtigten Hauptstromfahrzeugen im Kreis befand und die Zeitlücke zwischen den bevorrechtigten Hauptstromfahrzeugen im Kreis als größten abgelehnten oder angenommenen Zeitlücken maßgebend war, wurden nicht berücksichtigt.

Es kann davon ausgegangen werden, dass Ansatz (3) die reale Grenzzeitlücke am besten beschreibt. Die beschriebene Einschränkung führt jedoch zu einer deutlichen Verringerung der Datengrundlage. Ansatz (1) und (2) wurden mit betrachtet, um den Einfluss ausfahrender Fahrzeuge bei der Grenzzeitlückenbestimmung an Minikreisverkehren zu veranschaulichen.

Zur Bestimmung der abgelehnten und angenommenen Zeitlücken wurde die Ankunft der bevorrechtigten Fahrzeuge im Kreis bzw. der Ausfahrer anhand der im Rahmen der Videoauswertung für jedes Fahrzeug aufgenommenen Zeitstempel ermittelt. Die Auswertung der Grenzzeitlücken erfolgte für die erhobenen Minikreisverkehre unabhängig von der Zufahrt. Das heißt: Die an allen Zufahrten erhobenen angenommenen und abgelehnten Zeitlücken werden für den Erhebungszeitraum zusammengefasst betrachtet.

In Bild 93 sind beispielhaft die beobachteten Häufigkeitsverteilungen der größten abgelehnten sowie der angenommenen Zeitlücken dargestellt, welche bei den Verkehrserhebungen an den 10 Minikreisverkehren unter Verwendung des Ansatzes (3) bestimmt wurden. Für die angenommenen Zeitlücken ist der Effekt der Obergrenze bei 13 s zu erkennen. Weiterhin sind die mit Hilfe der Maximum-Likelihood-Methode geschätzte Grenzzeitlückenverteilung sowie deren Erwartungswert eingetragen.

Tabelle 34 zeigt die nach den drei Ansätzen ermittelten Grenzzeitlücken für die beiden Messzeiträume an den 10 erhobenen Minikreisverkehren. Ne-

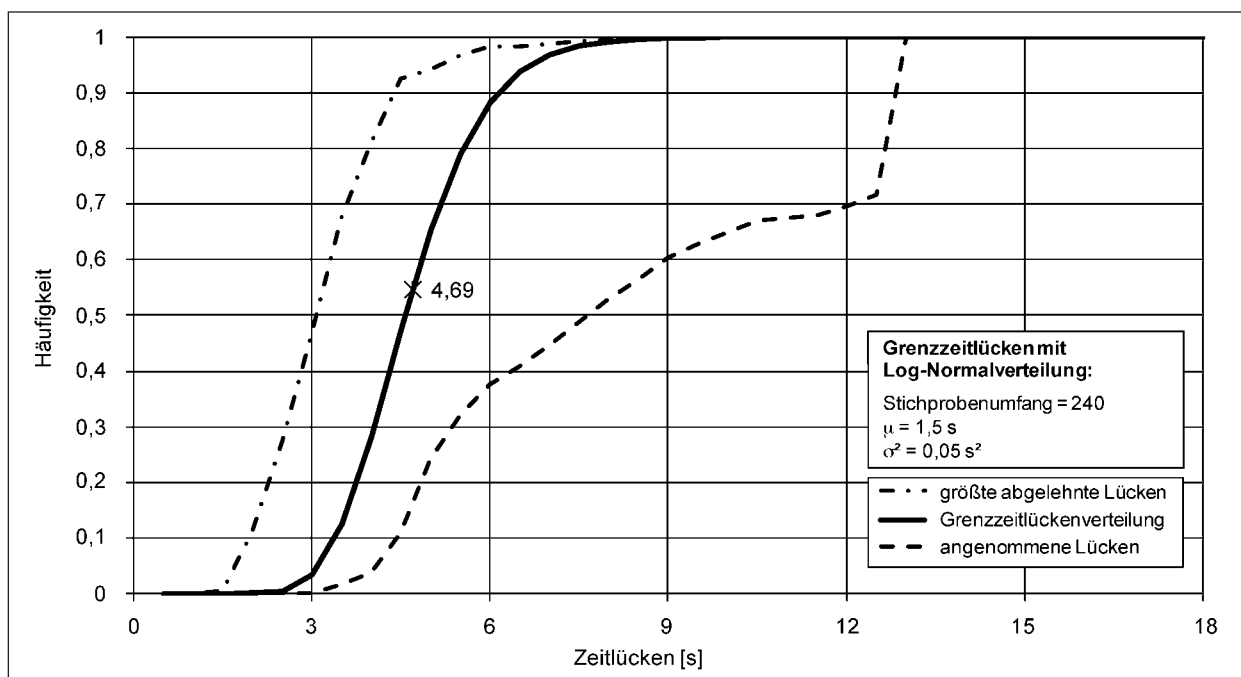


Bild 93: Verteilungsfunktion der Grenzzeitlücken nach Ansatz (3) – Datengrundlage alle erhobenen Zeitlücken

ben der mittleren Grenzzeitlücke  $t_g$  ist jeweils der zugrunde liegende Stichprobenumfang  $n(t_g)$  aufgeführt. Die Gegenüberstellung der mittleren Grenzzeitlücken für die 3 verwendeten Ansätze zeigte für alle Messungen:

- Ansatz (1) führt zu den größten Grenzzeitlücken. Dies ist dadurch zu erklären, dass die nach Ansatz (1) ermittelten Zeitlücken zum Teil nicht in vollem Umfang von den Fahrzeugführern so wahrgenommen werden konnten, da sich zwischen den bevorrechtigten Hauptstromfahrzeugen im Kreis auch Ausfahrer befanden. Folglich werden bei der Ermittlung der Grenzzeitlückenverteilung zu große Werte für die größte abgelehnte Zeitlücke verwendet, wenn sich ein Ausfahrer zwischen den bevorrechtigten Fahrzeugen im Kreis befand und der wartepflichtige Fahrzeugführer diesen nicht rechtzeitig als Ausfahrer erkannte. Dieser Effekt führt je nach Häufigkeit zu einer Überschätzung der realen Grenzzeitlücke.
- Ansatz (2) ergibt die niedrigsten Grenzzeitlücken. Hier kehrt sich der für Ansatz (1) beschriebene Effekt um. Jeder Ausfahrer wird als bevorrechtigtes Hauptstromfahrzeug angesehen. Wartepflichtige Fahrzeugführer, die einen Ausfahrer rechtzeitig als solchen erkennen, nehmen auch sehr kleine Zeitlücken im Hauptstrom zum Einfahren an, da für sie erst das dem Ausfahrer nachfolgende Fahrzeug relevant ist. Nach

Messung (Anzahl Zufahrten)	Ansatz (1)		Ansatz (2)		Ansatz (3)	
	$t_g$ [s]	$n(t_g)$ [Fz]	$t_g$ [s]	$n(t_g)$ [Fz]	$t_g$ [s]	$n(t_g)$ [Fz]
1-1 (4)	5,5	27	3,6	44	-*	7
1-2 (4)	5,3	50	3,6	85	4,0	17
2-1 (3)	-*	9	4,1	12	-*	4
2-2 (3)	6,8	32	4,6	45	6,2	12
3-1 (4)	5,0	42	3,7	56	-*	9
3-2 (4)	5,7	80	4,3	112	4,9	19
4-1 (4)	6,1	15	5,1	25	4,6	10
4-2 (4)	6,7	45	4,9	78	4,9	17
5-1 (3)	-*	4	4,6	12	-*	1
5-2 (3)	5,8	20	3,6	37	-*	4
6-1 (3)	5,9	42	4,0	45	5,4	11
6-2 (3)	7,1	17	4,0	24	-*	0
7-1 (4)	5,1	52	4,2	64	4,6	20
7-2 (4)	4,8	47	3,9	60	4,5	24
8-1 (3)	6,6	23	3,9	60	-*	7
8-2 (3)	5,5	49	3,7	70	4,5	11
9-1 (4)	6,0	33	3,8	66	4,5	14
9-2 (4)	5,4	96	4,0	126	4,8	42
10-1 (3)	5,8	26	3,9	30	-*	8
10-1 (3)	4,8	18	3,9	30	-*	3
<b>Gesamt</b>	<b>5,6</b>	<b>727</b>	<b>4,1</b>	<b>1.081</b>	<b>4,7</b>	<b>240</b>
<i>Mittelwert</i>	<i>5,8</i>	<i>18 h</i>	<i>4,1</i>	<i>20 h</i>	<i>4,8</i>	<i>12 h</i>

\* Betrag die Datenbasis unter 10 Fz, wurde auf eine Ermittlung der Grenzzeitlücke für die Einzelanlage verzichtet

Tab. 34: Grenzzeitlücken der erhobenen Minikreisverkehre

Ansatz (2) wird aber die Zeitlücke zum Ausfahrer als angenommene Zeitlücke für die Ermittlung der Grenzzeitlücke verwendet. Durch die tendenziell zu kleinen Werte für die angenommenen Zeitlücken wird die reale Grenzzeitlücke unterschätzt.

- Die nach Ansatz (3) ermittelten Grenzzeitlücken liegen zwischen den nach Ansatz (1) und (2) bestimmten mittleren Grenzzeitlücken. Bei Ansatz (3) werden ausschließlich unbeeinflusste Zeitlücken berücksichtigt. Daher kann davon ausgegangen werden, dass dieser Ansatz die mittlere Grenzzeitlücke für die wartepflichtigen Fahrzeugführer am besten beschreibt. Allerdings sind die für die einzelnen Messungen bestimmten Grenzzeitlücken, aufgrund der zum Teil sehr kleinen Stichprobe, mit Unsicherheiten behaftet.

Für Ansatz (2) stand die größte Stichprobe zur Verfügung, da durch die Berücksichtigung der Ausfahrer als bevorrechtigte Fahrzeuge die Zahl der Datenpaare ansteigt (lags unterteilen sich in gaps). Für Ansatz (3) ergaben sich die kleinsten Stichprobenumfänge, da im Mittel 60 % der nach Ansatz (1) bestimmten größten abgelehnten bzw. angenommenen Zeitlücken durch Ausfahrer beeinflusst wurden.

In der Zeile „Gesamt“ sind die für alle an den erhobenen Minikreisverkehren beobachteten Datenpaare (größte angenommene Zeitlücke/abgelehnte Zeitlücke) bestimmten Grenzzeitlücken angegeben (Tabelle 34). Die Zeile „Mittelwert“ spiegelt die über die einzelnen Messzeiträume gemittelte Grenzzeitlücke (ungewichtet) wider.

Die nach den unterschiedlichen Ansätzen für das Gesamtkollektiv bestimmten mittleren Grenzzeitlücken (Zeile „Gesamt“ in Tabelle 34) liegen zwischen 4,1 s und 5,6 s. Da bei Ansatz (2) jeder Ausfahrer als bevorrechtigtes Fahrzeug angesehen wurde, stellt dieser Ansatz im Bezug zur Realität eine „Worst-Case“ Abschätzung dar. Daher ergab sich für diesen Ansatz die kleinste mittlere Grenzzeitlücke.

Als kritisch ist die Abweichung von 0,9 s zwischen der nach Ansatz (1) und der nach Ansatz (3) bestimmten mittleren Grenzzeitlücke zu sehen. Ansatz (1) spiegelt dabei den in bisherigen Untersuchungen (vgl. WEINERT, 2001 oder BRILON/GEPPERT, 2010) verwendeten Ansatz zur Ermittlung der größten abgelehnten und angenommenen Zeitlücke

wider. Ansatz (3) stellte eine eher zutreffendere, aber deutlich aufwändigere Methode (großer Beobachtungszeitraum für vergleichsweise wenig auswertbare Datenpaare) dar. Die Ergebnisse in Tabelle 34 zeigen, dass Ansatz (1) für Minikreisverkehre keine zutreffenden Grenzzeitlücken liefert, da fast zwei Drittel der für diesen Ansatz beobachteten Datenpaare durch Ausfahrer beeinflusst waren. Die mittlere Grenzzeitlücke (Gesamt) liegt deutlich über der nach Ansatz (3) – nur unbeeinflusste angenommene und abgelehnte Zeitlücken – bestimmten Grenzzeitlücke.

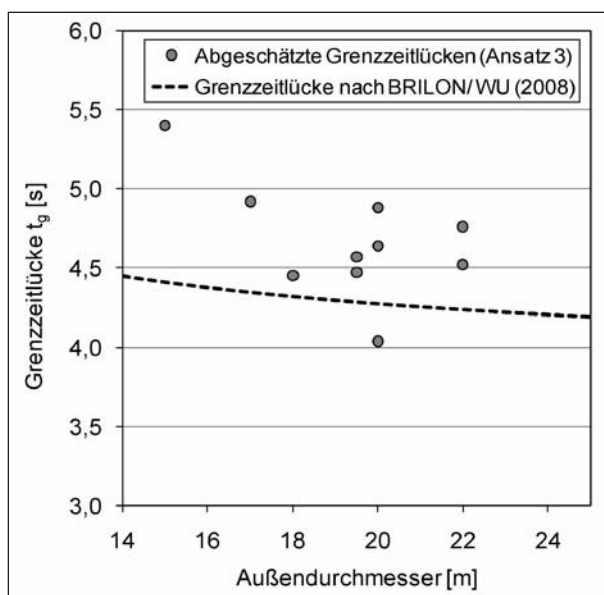
Neben den Grenzzeitlücken wurden auch Folgezeitlücken an den untersuchten Minikreisverkehren erhoben. Zur Bestimmung der Folgezeitlücken wurden nur Nebenstromfahrzeuge herangezogen, welche zuvor im Rückstau standen. Fuhren diese Fahrzeuge in dieselbe Hauptstromlücke wie das vorausfahrende Fahrzeug ein, wurde für dieses Fahrzeug die (Folge-)Zeitlücke bestimmt. Diese entspricht dem Bruttozeitabstand des betrachteten Fahrzeugs zum vorausfahrenden Fahrzeug. Im Gegensatz zum Vorgehen von WEINERT (2001) wurde die Bedingung des Rückstaus nicht durch die zeitlichen Abstände der Fahrzeuge in der ersten Warteposition, sondern nach dem tatsächlichen Auftreten eines Rückstaus (Ankunft am Warteschlangeneende) berücksichtigt. Die Ergebnisse für die einzelnen Erhebungsstunden sind in Tabelle 35 dargestellt. Im Mittel ergab sich eine Folgezeitlücke von 3,1 s für die untersuchten Minikreisverkehre.

Messstelle (Anzahl Zufahrten)	Messung X-1		Messung X-2	
	$t_f$ [s]	n ( $t_f$ ) Fz]	$t_f$ [s]	n ( $t_f$ ) [Fz]
1 (4)	3,4	74	3,0	240
2 (3)	2,3	67	3,2	108
3 (4)	2,9	189	3,2	487
4 (4)	3,7	27	3,2	61
5 (3)	2,8	43	3,2	127
6 (3)	3,1	156	3,2	140
7 (4)	3,3	262	3,3	182
8 (3)	3,0	151	3,4	294
9 (4)	3,0	225	3,0	285
10 (3)	3,3	115	3,4	127
<b>Gesamt</b>			<b>3,1</b>	<b>3.360</b>
<i>Mittelwert</i>			3,1	20 h

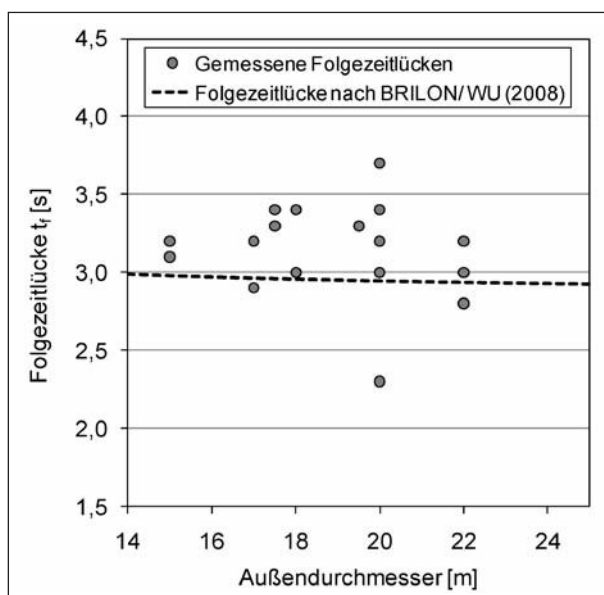
Tab. 35: Folgezeitlücken der erhobenen Minikreisverkehre

Die in BRILON/WU (2008) für Kreisverkehre angegebenen Grenz- und Folgezeitlücken variieren in Abhängigkeit vom Außendurchmesser der betrachteten Verkehrsanlage (vgl. Gleichung 23). In dieser Untersuchung sollte überprüft werden, inwieweit dies auch für Minikreisverkehre gilt.

Dazu wurden die nach Ansatz (3) abgeschätzten Grenzzeitlücken und die gemessenen Folgezeitlücken in Abhängigkeit des Außendurchmesser in Bild 94 und Bild 95 dargestellt und den in BRILON/WU



**Bild 94:** Nach Ansatz (3) abgeschätzte Grenzzeitlücken und nach BRILON/WU (2008) berechnete Grenzzeitlücken in Abhängigkeit des Außendurchmesser



**Bild 95:** Gemessene Folgezeitlücken und nach BRILON/WU (2008) berechnete Folgezeitlücken in Abhängigkeit des Außendurchmesser

angegebenen Grenz- und Folgezeitlücken gegenübergestellt. Die erhobenen Grenzzeitlücken liegen im Mittel 0,4 s und die erhobenen Folgezeitlücken 0,2 s über den in BRILON/WU angegebenen Werten. Der von BRILON/WU angegebene Zusammenhang zwischen mittlerer Grenz- bzw. Folgezeitlücke und dem Außendurchmesser lässt sich anhand der Erhebungsdaten nicht bestätigen. Die für die einzelnen Minikreisverkehre erhobenen mittleren Grenz- und Folgezeitlücken bilden eine Punktwolke und lassen keinen eindeutigen Zusammenhang mit dem Außendurchmesser erkennen.

Die Ergebnisse führen zu folgenden Schlussfolgerungen:

- Ein maßgeblicher Einfluss der Ausfahrer auf die Kapazität von Minikreisverkehrszufahrten (vgl. Kapitel 5.2 bzw. Kapitel 5.3.5) wird auch durch die unterschiedlichen Ergebnisse der ausgewerteten Ansätze zur Grenzzeitlückenbestimmung bestätigt.
- Zur Ermittlung von Grenzzeitlücken an Minikreisverkehren sollten ausschließlich Zeitlücken, die nicht von Ausfahrern beeinflusst wurden, verwendet werden.
- Ein Zusammenhang zwischen dem Außendurchmesser und der mittleren Grenz- bzw. Folgezeitlücke konnte anhand der untersuchten Minikreisverkehre nicht nachgewiesen werden.
- Für Minikreisverkehre betragen die mittlere Grenzzeitlücke  $t_g = 4,7$  s und die mittlere Folgezeitlücke  $t_f = 3,1$  s. Diese Werte liegen 0,4 bzw. 0,2 s über den in BRILON/WU (2008) für Minikreisverkehre angegebenen Grenz- und Folgezeitlücken.
- Die Mindestzeitlücke  $t_{\min}$  wurde für die erhobenen Minikreisverkehre nicht überprüft. Für die weiteren Betrachtungen wird daher die in BRILON/WU (2008) für Minikreisverkehre mit einem Außendurchmesser von 20 m angegebene Mindestzeitlücke  $t_{\min} = 2,5$  s verwendet.

### 5.4.3 Überprüfung der Verteilungsfunktion

Neben den verwendeten Grenz-, Folge- und Mindestzeitlücken hat die Annahme über die Verteilung der Zeitlücken im bevorrechtigten Hauptstrom maßgeblichen Einfluss auf die Kapazitätsermittlung. Daher wird durch die Auswertung der empirischen Zeitlückenverteilung im bevorrechtigten Haupt-

strom die Eignung der in Gleichung 22 beschriebenen Verteilungsfunktion (WU, 1997) zur Kapazitätsbestimmung überprüft. Allerdings erfolgt keine unmittelbare Überprüfung der Verteilungsfunktion. Vielmehr werden auf Basis der beobachteten Zeitlücken des bevorrechtigten Hauptstroms die Kapazitäten empirisch ermittelt und den Ergebnissen der Grundkapazitätsformel nach Gleichung 22 gegenübergestellt.

Die an den untersuchten Minikreisverkehren aufgetretenen Bruttozeitlücken im bevorrechtigten Hauptstrom wurden durch die im Rahmen der Videoauswertung für jedes Fahrzeug aufgenommenen Zeitstempel ermittelt. Für die so ermittelten Zeitlücken  $t$  wurde die Anzahl der theoretisch abfließenden Nebenstromfahrzeuge durch Verwendung des Abflussgesetzes nach SIEGLOCH (1973) bestimmt (vgl. Gleichung 29):

$$n_C(t) = \begin{cases} 0 & \text{für } t \leq t_0 \\ \frac{t - t_0}{t_f} & \text{für } t > t_0 \end{cases} \quad \text{Gl. 29}$$

mit

$n_C(t)$  Anzahl der in die Zeitlücke  $t$  einfahrenden Nebenstromfahrzeuge [-]

$t_0$  Nullzeitlücke =  $t_g - t_f/2$  [s]

$t_g$  Grenzzeitlücke (= 4,7 s) [s]

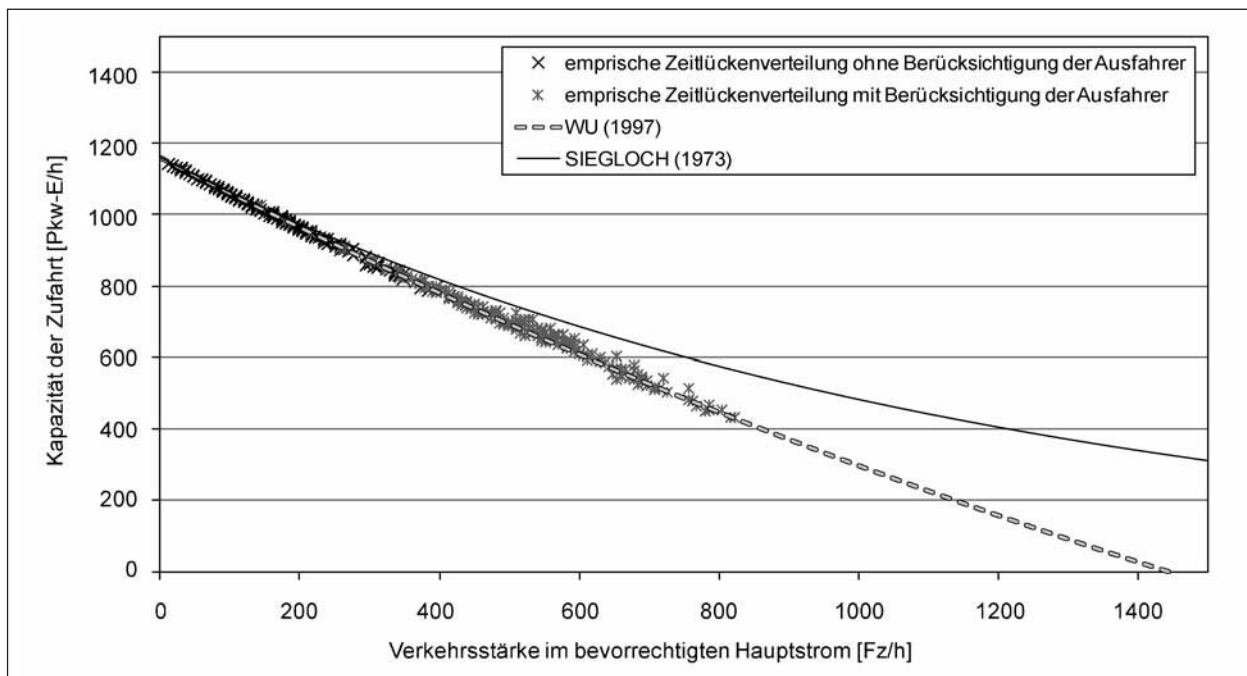
$t_f$  Folgezeitlücke (= 3,1 s) [s]

Dieses Vorgehen wurde für 5-, 10- und 15-min-Intervalle durchgeführt und die Anzahl der theoretisch einfahrenden Nebenstromfahrzeuge auf eine Stunde hochgerechnet. Zum Vergleich mit der Grundkapazitätsformel wurde außerdem die in den Zeitintervallen beobachtete Anzahl an Hauptstromfahrzeugen dokumentiert und auf Stundenwerte hochgerechnet.

Um auch Aussagen zur Zeitlückenverteilung bei Berücksichtigung des Ausfahrereinflusses zu erhalten, wurden die beschriebenen Auswertungen

- (1) für alle bevorrechtigte Hauptstromfahrzeuge im Kreis vor der betrachteten Zufahrt (0 % Ausfahrereinfluss) und
- (2) für alle bevorrechtigten Hauptstromfahrzeuge im Kreis vor der betrachteten Zufahrt sowie der Fahrzeuge, die den Kreisverkehr am betrachteten Knotenarm verlassen (100 % Ausfahrereinfluss),

durchgeführt. Zum Vergleich sind die für die empirischen Zeitlückenverteilungen ermittelten Kapazitäten den Grundkapazitätsformeln nach Gleichung 21 (SIEGLOCH, 1973) und Gleichung 22 (WU, 1997) gegenübergestellt worden. Dabei wurden  $t_g = 4,7$  s als mittlere Grenzzeitlücke,  $t_f = 3,1$  s als mittlere Folgezeitlücke und  $t_{min} = 2,5$  s als Mindestzeitlücke



**Bild 96:** Kapazitätsformel nach WU (1997) und SIEGLOCH (1973) und auf Basis der empirischen Zeitlückenverteilungen ermittelte Kapazitäten an dreiarmligen Minikreisverkehren für 10-min-Intervalle

verwendet. Die Ergebnisse sind beispielhaft für 10-min-Intervalle in Bild 96 für dreiarmige und in Bild 97 für vierarmige Minikreisverkehre dargestellt. Für die 5 min- und 15-min-Intervalle ergaben sich vergleichbare Ergebnisse.

Die Gegenüberstellung der auf Basis der empirischen Zeitlückenverteilungen ermittelten und der nach WU (1997) mit den erhobenen Grenz- und Folgezeitlücken berechneten Kapazitäten zeigt für beide Ansätze (mit und ohne Berücksichtigung der Ausfahrer) sehr gute Übereinstimmungen. Die Grundkapazitätsformel nach SIEGLOCH (1973) weicht dagegen deutlich von den erhobenen Kapazitätswerten ab. Dieses Ergebnis verdeutlicht, dass bei der Kapazitätsermittlung an Kreisverkehren nicht zufällige Fahrzeugankünfte im Hauptstrom berücksichtigt werden müssen. Durch den von WU entwickelten Ansatz auf Basis der Mindestzeitlücke werden die gestörten Fahrzeugankünfte im Hauptstrom realitätsnah beschrieben. Dies belegen neben den Darstellungen in Bild 96 und Bild 97 auch die in Tabelle 36 angegebenen Bestimmtheitsmaße.

Die ermittelten Bestimmtheitsmaße liegen in allen Fällen über 0,98, wobei die bei voller Berücksichtigung der Ausfahrer als bevorrechtigte Fahrzeuge ermittelten Kapazitäten die niedrigsten Bestimmtheitsmaße aufweisen. Die in WU (1997) angegebene Kapazitätsformel beschreibt bei Verwendung

einer Mindestzeitlücke von  $t_{\min} = 2,5$  s die erhobenen Zeitlückenverteilungen in den bevorrechtigten Hauptströmen somit nahezu vollständig.

Eine Beurteilung der Güte der erhobenen Grenz- und Folgezeitlücken ist mit dem beschriebenen Vorgehen jedoch nicht möglich, da diese sowohl zur Ermittlung der Kapazitäten auf Basis der empirischen Zeitlückenverteilungen als auch bei der Berechnung der Kapazitäten mit der Formel nach WU (1997) verwendet wurden.

Eine Verifizierung des Ausfahrereinflusses ist mit dieser Methodik nicht möglich. Es konnte aber gezeigt werden, dass auch bei Berücksichtigung der Ausfahrer die Zeitlückenverteilung im Hauptstrom und somit die Kapazitäten mit der Formel nach WU (1997) realitätsnah beschrieben werden.

Zeitintervall	Bestimmtheitsmaß $R^2$			
	ohne Ausfahrer		mit Ausfahrer	
	dreiarmig	vierarmig	dreiarmig	vierarmig
5 min	0,995	0,997	0,982	0,986
10 min	0,998	0,998	0,988	0,991
15 min	0,998	0,999	0,991	0,993
1 h	1,000	1,000	0,993	0,994

Tab. 36: Vergleich der anhand der empirischen Zeitlückenverteilung ermittelten Kapazitäten mit den nach WU (1997) berechneten Kapazitäten

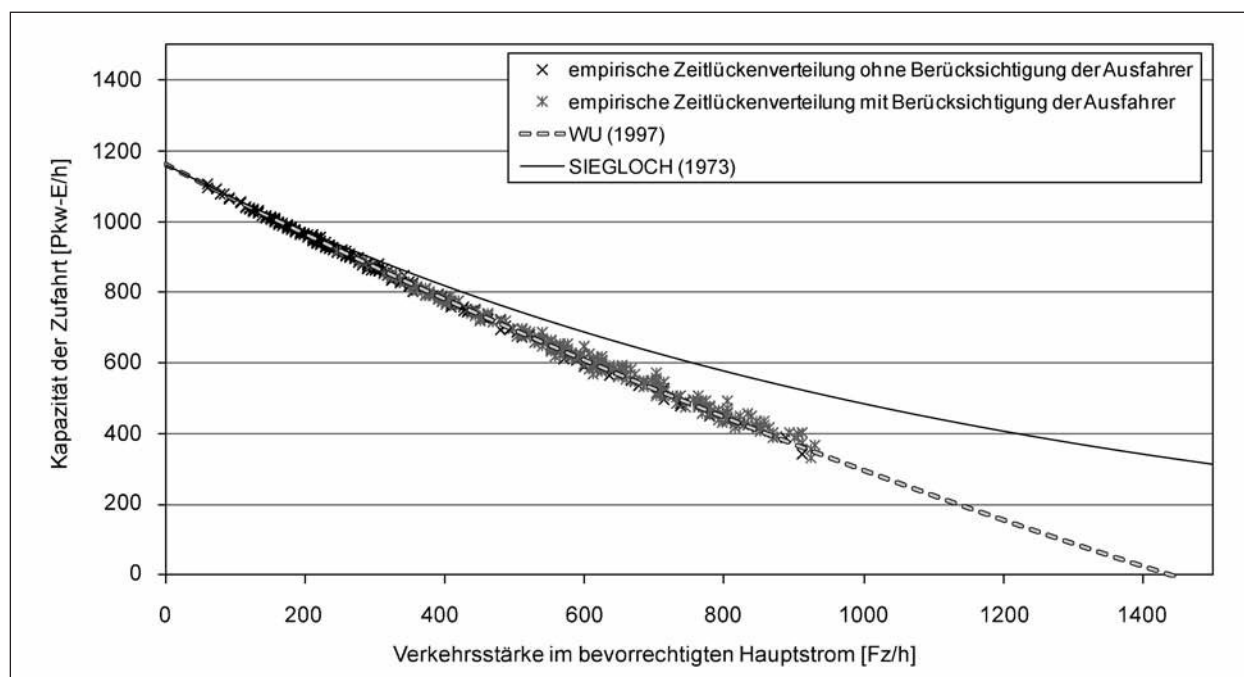


Bild 97: Kapazitätsformel nach WU (1997) und SIEGLOCH (1973) und auf Basis der empirischen Zeitlückenverteilungen ermittelte Kapazitäten an vierarmigen Minikreisverkehren für 10-min-Intervalle



**5.4.4 Einfluss ausfahrender Fahrzeuge**

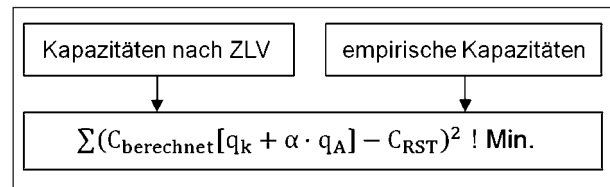
Der Einfluss ausfahrender Fahrzeuge auf die in der zugehörigen Zufahrt wartenden Fahrzeuge kann durch die Gegenüberstellung der nach Gleichung 22 (WU, 1997) mit den, aus erhobenen Zeitlücken, berechneten Kapazitäten und den auf Basis der Zeitintervalle mit ständigem Rückstau ermittelten Kapazitäten quantifiziert werden. In Bild 98 sind zunächst die erhobenen und berechneten Kapazitäten ohne Berücksichtigung des Ausfahreinflusses gegenübergestellt. Auf differenzierte Darstellungen für drei- und vierarmige Minikreise wird verzichtet, da sich bei der getrennten Analyse keine systematischen Unterschiede zwischen beiden Anlagenformen zeigten.

Die in Bild 98 schwarz dargestellte Regressionsgerade verdeutlicht, dass die berechneten Kapazitäten im Mittel über den erhobenen Kapazitäten liegen. Im Mittel überschätzt das Berechnungsverfahren die realen Verhältnisse um 8 %. Durch die anteilige Berücksichtigung der Ausfahrer soll geprüft werden, inwiefern sich eine bessere Übereinstimmung zwischen den erhobenen und berechneten Kapazitäten erreichen lässt. Um den Einfluss des ausfahrenden Verkehrs zu quantifizieren, wurden die Abweichungen zwischen berechneten und beobachteten Kapazitäten durch Veränderung des Faktors  $\alpha$  zur Berücksichtigung des ausfahrenden Ver-

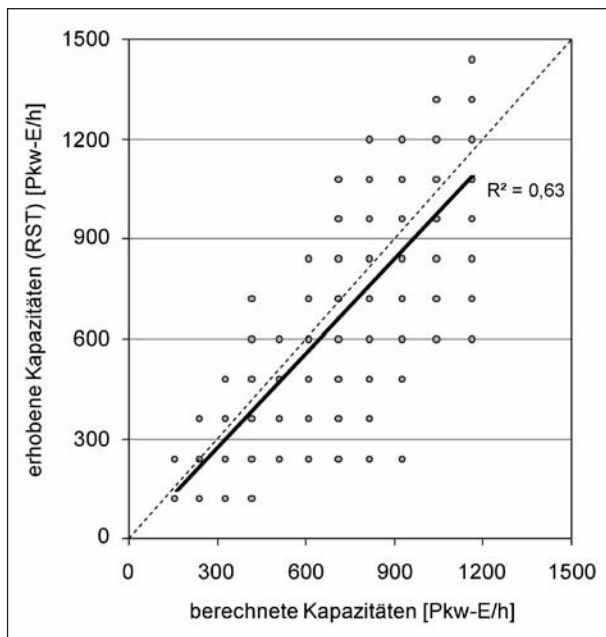
kehrs mit der Methode der kleinsten Quadrate minimiert (vgl. Bild 99).

Die Minimierung der Fehlerquadrate ergab einen Faktor zur Berücksichtigung des ausfahrenden Verkehrs von  $\alpha = 0,135$ . Das bedeutet, dass 13,5 % der Ausfahrer dem bevorrechtigten Hauptstrom bei der Kapazitätsberechnung zuzuschlagen sind. Aus pragmatischen Gründen wurde dieser Faktor auf 15 % gerundet. In Bild 100 sind die für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau erhobenen Kapazitäten den berechneten Kapazitäten unter Berücksichtigung von 15 % des ausfahrenden Verkehrs gegenübergestellt. Die Regressionsrechnung zeigt, dass in diesem Fall die Ausgleichsgerade nahezu mit der Winkelhalbierenden übereinstimmt. Folglich beschreibt das Berechnungsverfahren unter diesen Annahmen im Mittel die realen Verkehrsabläufe an Minikreisverkehren gut.

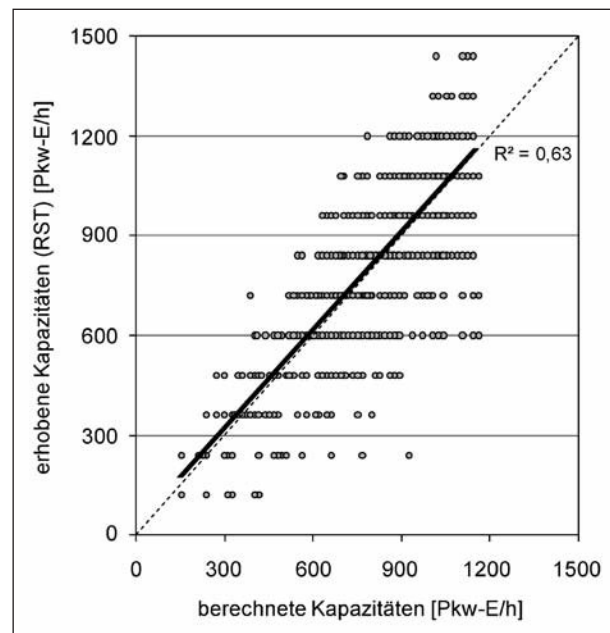
Der mit 15 % ermittelte Anteil für den Einfluss der Ausfahrer liegt für dreiarmlige Minikreisverkehre



**Bild 99:** Methodik zur Quantifizierung des Ausfahreinflusses



**Bild 98:** Berechnete Kapazitäten nach WU (1997) (mit erhobenen Zeitlücken) und für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau erhobene Kapazitäten (RST) – ohne Berücksichtigung der Ausfahrer



**Bild 100:** Berechnete Kapazitäten nach WU (1997) (mit erhobenen Zeitlücken) und für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau erhobene Kapazitäten (RST) – mit Berücksichtigung von 15 % der Ausfahrer als bevorrechtigter Strom

5%-Punkte und für vierarmige Minikreisverkehre 10%-Punkte unter den in Kapitel 5.2 ermittelten Werten. Die Abweichungen sind auf die unterschiedlichen Ansätze der Quantifizierung zurückzuführen. Das in Kapitel 5.2 beschriebene Vorgehen basiert auf Verhaltensbeobachtungen, welche auch durch subjektive Einschätzungen des Messpersonals beeinflusst werden. Bei der hier verwendeten Methode der kleinsten Quadrate zur Ermittlung des Ausfahrereinflusses hat die Repräsentativität des Berechnungsverfahrens maßgeblichen Einfluss auf die Ergebnisse.

Im konkreten Fall sind dies die verwendeten mittleren Grenz- und Folgezeitlücken. Diese stellen Mittelwerte über das gesamte Untersuchungskollektiv dar. Durch Minimierung der Fehlerquadrate zwischen empirisch erhobenen und berechneten Kapazitäten unter Veränderung des Ausfahreranteils können keine unmittelbaren Kausalitäten zum realen Einfluss der Ausfahrer hergestellt werden, da auch Besonderheiten der einzelnen Örtlichkeiten durch den Ausfahreranteil nivelliert werden. Allerdings stimmt die durch mathematische Verfahren vorgenommene Abschätzung des Ausfahreranteils gut mit dem auf Basis der linearen Mehrfachregression bestimmten Ausfahrereinfluss überein (vgl. Kapitel 5.3.5). Für das Berechnungsverfahren auf Basis der Zeitlückentheorie wird daher ebenfalls die

Verwendung eines Faktors zur Berücksichtigung des ausfahrenden Verkehrs von  $\alpha = 0,15$  vorgeschlagen.

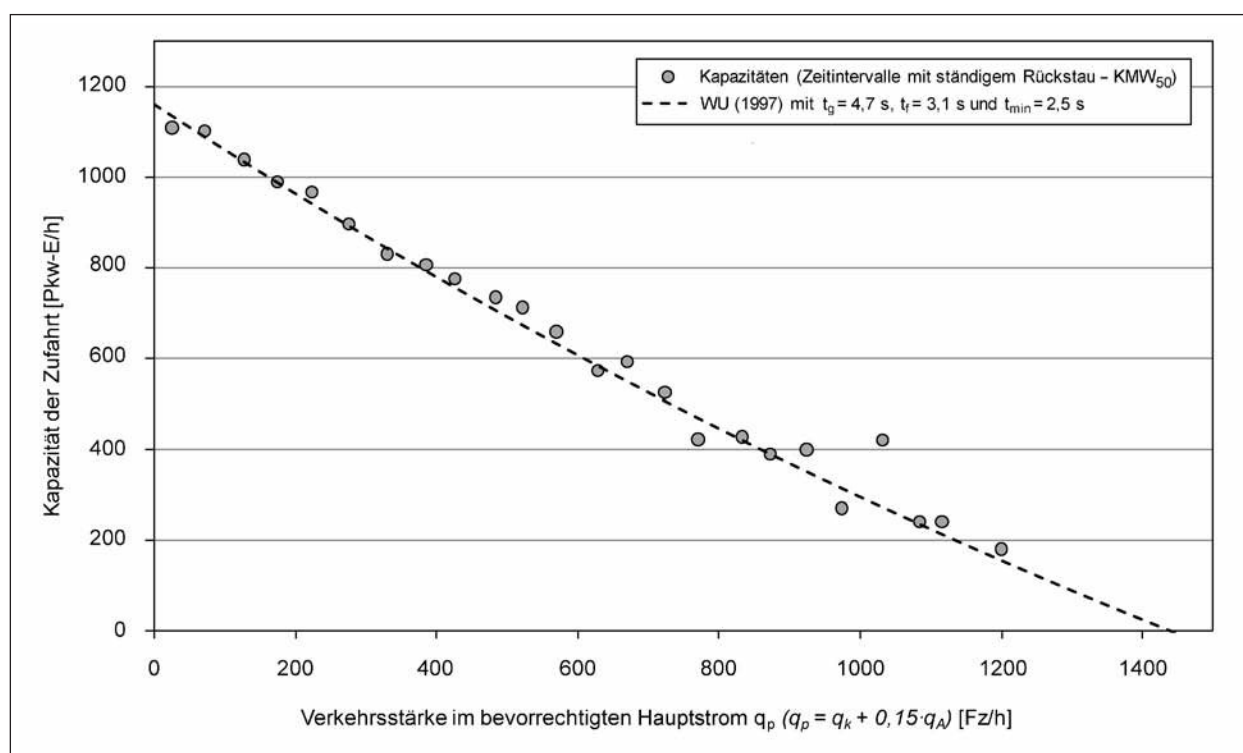
#### 5.4.5 Fazit

In Bild 101 ist die Grundkapazitätsformel nach WU (1997) unter Verwendung der erhobenen mittleren Grenz- und Folgezeitlücke sowie der Mindestzeitlücke von 2,5 s den für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau erhobenen Kapazitäten gegenübergestellt. Die dargestellten mittleren Kapazitäten ergeben sich bei einer Berücksichtigung von 15 % des ausfahrenden Verkehrs und sind auf 50 Fz des maßgebenden Hauptstroms klassifiziert ( $KMW_{50}$ ).

Durch die erhobenen Zeitlücken, die realitätsnahe Verteilungsfunktion der Zeitlücken im Hauptstrom nach WU sowie die Berücksichtigung des Ausfahrereinflusses ergibt sich eine hohe Übereinstimmung ( $R^2 = 0,984$ ) zwischen den erhobenen Kapazitäten und dem Berechnungsverfahren.

Weiterhin konnte durch die Untersuchung gezeigt werden, dass

- Kapazitätsformeln, welche die gestörten Fahrzeugankünfte im bevorrechtigten Hauptstrom nicht berücksichtigen (z. B. SIEGLOCH 1973),



**Bild 101:** Kapazitätsformel nach WU (1997) mit erhobenen Zeitlücken und für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau erhobene Kapazitäten auf 50 Fz klassiert ( $KMW_{50}$ )

nicht geeignet sind, um die Verkehrsabläufe an Minikreisverkehren zu beschreiben,

- der Einfluss der Ausfahrer sowohl bei der Ermittlung der Zeitlücken als auch im Berechnungsverfahren berücksichtigt werden muss,
- eine Differenzierung der Grenz- und Folgezeitlücken in Abhängigkeit des Außendurchmessers an Minikreisverkehren nicht notwendig ist.

Der Einfluss der die Zufahrt querenden Fußgänger wurde in diesem Kapitel nicht behandelt, da dafür auf mikroskopische Verkehrsflusssimulationen zurückgegriffen wird (vgl. Kapitel 5.6.4). Ein Vorschlag zur Berücksichtigung des kapazitätsmindernden Einflusses querender Fußgänger folgt in Kapitel 5.7.

## 5.5 Konfliktmatrixverfahren

### 5.5.1 Theoretische Grundlagen

Das nachfolgend erläuterte Verfahren stellt eine Modifikation des in MILTNER (2003) beschriebenen Konfliktmatrixverfahrens für Kreuzungen und Einmündungen mit Vorfahrtbeschilderung dar. Die dort beschriebene Konflikttheorie und die daraus abgeleiteten Berechnungsvorschriften erlauben es, unabhängig von der Anzahl der vorhandenen Ränge (gemäß der Vorfahrtregelung) innerhalb eines Knotenpunktes Kapazitäten zu ermitteln. Des Weiteren fließen die Verkehrsstärken der nichtmotorisierten Verkehrsteilnehmer direkt in die Berechnung der Verkehrsqualität ein, was vor allem bei der Betrachtung der ausschließlich im innerörtlichen Straßennetz gelegenen Minikreisverkehre zweckmäßig ist.

#### Konflikttheorie

Zur Erläuterung der Grundlagen der Konflikttheorie wird zunächst vereinfachend die Kreuzung zweier Einbahnstraßen betrachtet.

Bild 102 zeigt eine Kreuzung zweier Einbahnstraßen, die nur durch 2 Verkehrsströme befahren werden kann. Die gemeinsame Konfliktfläche kann von Verkehrsteilnehmern des untergeordneten Stromes j nur dann genutzt werden, wenn sich keine bevorrechtigten Verkehrsteilnehmer auf der Konfliktfläche befinden bzw. in einer Schlange davor warten (Freiheit 1. Art) und sich auch kein bevorrechtigter Verkehrsteilnehmer der Konfliktfläche nähert (Freiheit 2. Art).

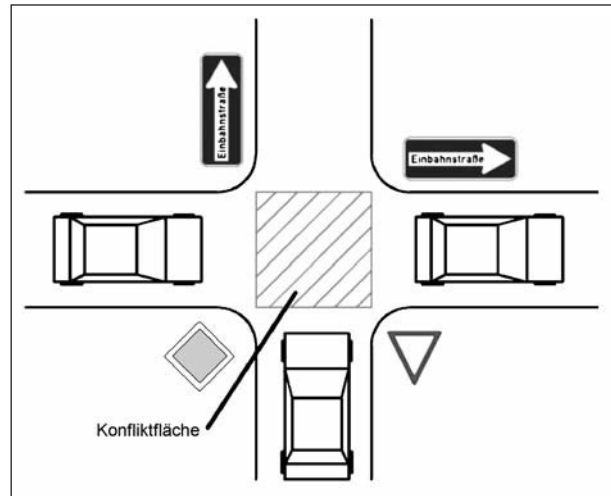


Bild 102: Konfliktfläche zweier Verkehrsströme

Sind die Zeit, die ein konkurrierendes Fahrzeug benötigt um die Konfliktfläche zu überfahren, und die Verkehrsstärke dieses Stromes  $i$  bekannt, kann die Wahrscheinlichkeit, dass die Konfliktfläche nicht durch ein konkurrierendes Fahrzeug belegt ist, nach Gleichung 30 berechnet werden:

$$p_{0,s} = 1 - B_{s,i} \quad \text{Gl. 30}$$

$$B_{s,i} = \frac{1}{3600} \cdot q_i \cdot t_{s,i} \quad \text{Gl. 31}$$

mit

$p_{0,s}$  Wahrscheinlichkeit, dass die Konfliktfläche nicht durch Verkehrsteilnehmer eines bevorrechtigten Stroms blockiert wird [-]

$B_{s,i}$  Belegzeitanteil einer Konfliktfläche durch Verkehrsteilnehmer des bevorrechtigten Stroms  $i$ , die eine Konfliktfläche überfahren [-]

$q_i$  Verkehrsstärke des bevorrechtigten Stroms  $i$  [Fz/h]

$t_{s,i}$  Zeitbedarfswert für einen Verkehrsteilnehmer des bevorrechtigten Stroms  $i$ , der eine Konfliktfläche überfährt [s]

Die Wahrscheinlichkeit, dass sich kein bevorrechtigter Verkehrsteilnehmer der Konfliktfläche nähert, entspricht der Wahrscheinlichkeit für das Vorhandensein einer ausreichend großen Lücke im Hauptstrom, die es dem Verkehrsteilnehmer des untergeordneten Stromes  $j$  ermöglicht, die Konfliktfläche zu überfahren. Diese Wahrscheinlichkeit kann mit Hilfe der Zeitlückentheorie bestimmt werden, wobei davon ausgegangen wird, dass die Zeitlücken im

Hauptstrom exponentialverteilt sind – siehe Gleichung 32.

$$p_{0,a} = e^{-B_{a,i}} \quad \text{Gl. 32}$$

$$B_{a,i} = -\frac{1}{3600} \cdot q_i \cdot t_{a,i} \quad \text{Gl. 33}$$

mit

$p_{0,a}$  Wahrscheinlichkeit, dass die Konfliktfläche nicht durch sich annähernde Verkehrsteilnehmer eines bevorrechtigten Stroms blockiert wird [-]

$B_{s,i}$  Belegzeitanteil einer Konfliktfläche durch Verkehrsteilnehmer des bevorrechtigten Stroms  $i$ , die sich einer Konfliktfläche nähern [-]

$q_i$  Verkehrsstärke des bevorrechtigten Stroms  $i$  [Fz/h]

$t_{a,i}$  Zeitbedarfswert für einen Verkehrsteilnehmer des bevorrechtigten Stroms  $i$ , der sich dem Knotenpunkt annähert [s]

Um die Wahrscheinlichkeit für die Freiheit 1. und 2. Art zu ermitteln, werden die Einzelwahrscheinlichkeiten nach Gleichung 30 und Gleichung 32 multiplikativ verknüpft.

$$p_0 = p_{0,s} \cdot p_{0,a} \quad \text{Gl. 34}$$

mit

$p_0$  Wahrscheinlichkeit, dass die Konfliktfläche nicht durch Verkehrsteilnehmer eines bevorrechtigten Stroms blockiert wird, die sich der Konfliktfläche nähern oder diese befahren [-]

$p_{0,s}$  Wahrscheinlichkeit, dass die Konfliktfläche nicht durch Verkehrsteilnehmer eines bevorrechtigten Stroms blockiert wird [-]

$p_{0,a}$  Wahrscheinlichkeit, dass die Konfliktfläche nicht durch sich annähernde Verkehrsteilnehmer eines bevorrechtigten Stroms blockiert wird [-]

Die Kapazität eines Verkehrsstromes  $j$  ergibt sich dann aus der theoretisch maximal möglichen Anzahl an Nebenstromfahrzeugen, die in den Knotenpunkt einfahren können ( $C_{\max,j}$ ) und der Wahrscheinlichkeit für Freiheit 1. Art und 2. Art ( $p_0$ ):

$$C_j = C_{\max,j} \cdot p_0 \quad \text{Gl. 35}$$

mit

$C_j$  Kapazität des Verkehrsstroms  $j$  [Fz/h]

$C_{\max,j}$  maximale Kapazität des Verkehrsstroms  $j$  ( $= 3.600/t_{b,j}$ ) [Fz/h]

$t_{b,j}$  Zeitbedarfswert zum Befahren des Knotenpunktes eines Verkehrsteilnehmers des betrachteten Stroms  $j$  [s]

$p_0$  Wahrscheinlichkeit, dass die Konfliktfläche nicht durch Verkehrsteilnehmer eines bevorrechtigten Stroms blockiert wird, die sich der Konfliktfläche nähern oder diese befahren [-]

Im Folgenden wird ein Berechnungsansatz für vierarmige Minikreisverkehre auf Basis der Konflikttheorie beschrieben. Bei dreiarmligen Minikreisverkehren vereinfacht sich der Berechnungsalgorithmus, da die Verkehrsströme 10, 11, 12, FZ4 und FA4 entfallen.

#### Definition der Verkehrsströme

Grundlage bildet die Untergliederung der Knotenpunktarme des Kreisverkehrs in vier Zufahrten und vier Ausfahrten gemäß Bild 103. Analog zum Konfliktmatrixverfahren für Kreuzungen und Einmündungen werden alle zufahrenden Fahrzeugströme in 12 Einzelströme (1-12) aufgeteilt. Des Weiteren werden 8 Fußgängerströme (FA1-FA4 und FZ1-

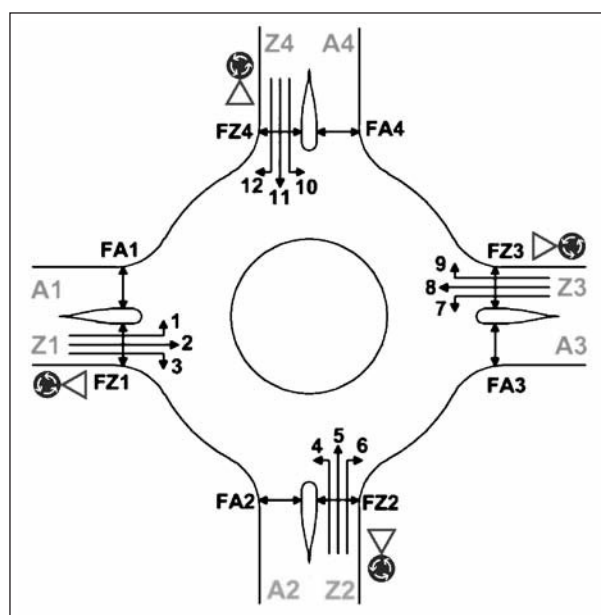


Bild 103: Definition der Verkehrsströme an Minikreisverkehren (HANTSCHEL, 2009)

FZ4) definiert. Die Nummerierung der Fußgängerströme erfolgt sinngemäß zur Nummerierung der Zu- und Ausfahrten. Von kreuzenden Radverkehrsströmen wird nicht ausgegangen, da aufgrund der beengten Platzverhältnisse an Minikreisverkehren der Radverkehr gemeinsam mit dem Kfz-Verkehr auf der Fahrbahn geführt wird und die Kapazitätsermittlung für den Radverkehr gemeinsam mit den Kraftfahrzeugströmen erfolgt.

Die kreuzenden Fußgängerströme sind dem Fahrzeugverkehr in den Zufahrten vorfahrrechtlich untergeordnet und in den Ausfahrten übergeordnet, sofern keine Fußgängerüberwege (FGÜ) angeordnet sind. Bei Vorhandensein derartiger Querungshilfen haben die Fußgängerströme sowohl in der Ausfahrt als auch in der Zufahrt Vorrang gegenüber dem Fahrzeugverkehr.

**Konfliktmatrix**

Als Grundlage für den Entwurf der Konfliktmatrix für Kreisverkehre dient die Konfliktmatrix für Kreuzungen nach MILTNER (2003). Nach der in Bild 103 vorgeschlagenen Definition werden die Verkehrsteilnehmer eines Kreisverkehrs in 20 Ströme eingeteilt. Bild 104 zeigt beispielhaft die Konfliktmatrix für Minikreisverkehre ohne Fußgängerüberwege in den Zu- und Ausfahrten. Die Ströme in den einzelnen Zufahrten sind zunächst zweitrangig gemäß der Vorfahrtfolge. Befinden sich Fahrzeuge eines Stromes auf der Kreisfahrbahn, haben sie gegenüber den Strömen der Zufahrten Vorrang (erstran-

gig). Das führt dazu, dass der Rang eines Verkehrsstroms von der Position der Fahrzeuge (Zufahrt oder Kreisfahrbahn) abhängig ist. Daher kann für die Konfliktmatrix von Kreisverkehren die Bedingung „wenn  $A_{ji} = 1$ , dann  $A_{ij} = 0$ “ im Gegensatz zu vorfahrtdirektierten Einmündungen und Kreuzungen nicht gelten. Beispielsweise gilt für die Ströme 1 und 7  $A_{17} = A_{71} = 1$ .

**Kapazitätsbestimmung**

Überträgt man die Einteilung der Fläche einer Kreuzung in 12 voneinander unabhängige Konfliktflächen nach WU (2000) auf Kreisverkehre, kann die Fläche eines Kreisverkehrs ebenfalls in 12 Konfliktflächen unterteilt werden (vgl. Bild 105). Dabei steht jeder Konfliktpunkt gleichzeitig für eine Konfliktfläche. Die Zuordnung der Ströme  $i$  zu den Konfliktgruppen  $k$  erfolgt separat für Zu- und Ausfahrt – siehe Bild 105.

Grundsätzlich gelten für jede Konfliktfläche die zu Beginn dieses Kapitels erläuterten Berechnungsvorschriften der Konflikttheorie. Das heißt: Ein Verkehrsteilnehmer im Nebenstrom kann den Kreisverkehr erst dann befahren, wenn die Bedingungen sowohl für Freiheit 1. Art und 2. Art gegeben sind.

Bei vorfahrtdirektierten Kreuzungen oder Einmündungen gilt weiterhin, dass ein Verkehrsteilnehmer den Knotenpunkt erst befahren kann, wenn alle Konfliktflächen, die er überfahren muss, gleichzeitig

Konfliktauflösung $A_{ij}$		KonfliktNULLmatrix für Minikreisverkehre ohne FGÜ																				
		betrachteter Verkehrsstrom j																				
Konkurrenzstrom i		Z1			Z2			Z3			Z4			FZ1	FZ2	FZ3	FZ4	FA1	FA2	FA3	FA4	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12									
	1				1	1	1	1	1	1					1							0
	2				1	1	1								1						0	
	3														1				0			
	4							1	1	1	1	1	1			1			0			
	5							1	1	1						1						0
	6															1					0	
	7	1	1	1							1	1	1				1			0		
	8										1	1	1				1		0			
	9																1					0
	10	1	1	1	1	1	1											1			0	
	11	1	1	1														1		0		
	12																	1	0			
	FZ1	0	0	0																		
	FZ2				0	0	0															
	FZ3							0	0	0												
	FZ4										0	0	0									
	FA1				1				1					1								
	FA2			1				1				1										
FA3		1				1				1												
FA4	1				1				1													

Bild 104: Konfliktnullmatrix für Minikreisverkehre ohne FGÜ

frei sind. Bei Kreisverkehren gilt dies nicht im gleichen Maße, da zunächst nur die Konfliktflächen in den Zufahrten relevant sind. Ein Verkehrsteilnehmer wird auch in die Kreisfahrbahn einfahren, wenn sich in der Kreisverkehrausfahrt, die er befahren will, querende Fußgänger befinden. Folglich muss die Qualität des Verkehrsablaufs zweistufig ermittelt werden. Dabei werden in der ersten Stufe die Kapazität der Zufahrt und in der zweiten Stufe die Kapazität der Ausfahrt bestimmt. Das Minimum der beiden Kapazitätswerte beschreibt die Gesamtkapazität eines betrachteten Stromes:

$$C_j = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{Z,j} \\ C_{A,j} \end{array} \right\} \quad \text{Gl. 36}$$

mit

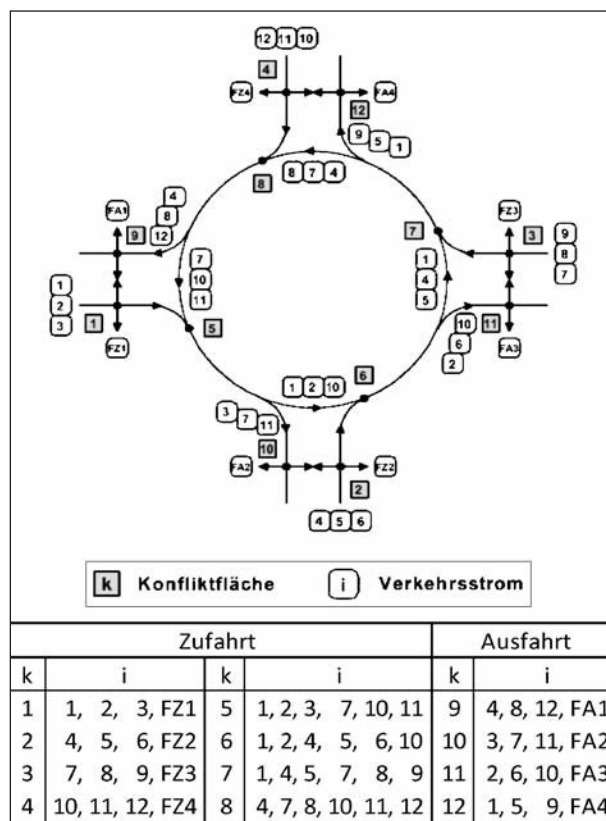
$C_j$  Gesamtkapazität des Stromes  $j$  [Fz/h]

$C_{Z,j}$  Kapazität in der Zufahrt des Stromes  $j$  [Fz/h]

$C_{A,j}$  Kapazität in der Ausfahrt des Stromes  $j$  [Fz/h]

### Kapazität der Zufahrt

Da die Kapazitäten der drei Ströme einer Zufahrt denselben Abhängigkeiten unterliegen (vgl. Bild 105) und diese demzufolge auch identische



**Bild 105:** Konfliktflächen eines Minikreisverkehrs und Zuordnung der Ströme  $i$  zu den Konfliktgruppen  $k$

Konfliktfaktoren  $A_{ij}$  aufweisen, kann eine gemeinsame Berechnung der Kapazitäten der Verkehrsströme einer Zufahrt erfolgen. Allerdings müssen bei unterschiedlicher Verkehrszusammensetzung der einzelnen Verkehrsströme verschiedene  $t_{b,j}$ -Werte der Berechnung der Kapazitätswerte zugrunde gelegt werden, was zu unterschiedlichen maximalen Kapazitäten ( $C_{max}$ ) der einzelnen Verkehrsströme führt. Um die unterschiedliche Verkehrszusammensetzung der einzelnen Verkehrsströme zu berücksichtigen, wird nach der Bestimmung der verkehrstromspezifischen Kapazitäten die Mischstromkapazität nach HARDERS (1968) für die jeweilige Zufahrt berechnet:

$$C_m = \frac{q_i + q_j + q_k}{\frac{q_i}{C_i} + \frac{q_j}{C_j} + \frac{q_k}{C_k}} \quad \text{Gl. 37}$$

mit

$i, j, k$  Verkehrsströme in der Zufahrt bzw. Ausfahrt [-]

$C_m$  Kapazität der Zufahrt bzw. Ausfahrt  $m$  [Fz/h]

$q_i, q_j, q_k$  Verkehrsstärke des Stroms  $i, j$  bzw.  $k$  [Fz/h]

$C_i, C_j, C_k$  Kapazität des Stroms  $i, j$  bzw.  $k$  [Fz/h]

Ausgehend von der Konfliktflächendefinition (vgl. Bild 105) ergeben sich durch Gleichung 35 und Gleichung 37 vier allgemeingültige Formeln zur Berechnung der Zufahrtskapazitäten der 12 Verkehrsströme (siehe Gleichung 38 bis Gleichung 41).

In Anlehnung an die Festlegungen bei der Ermittlung der Qualität des Verkehrsablaufs von Kreisverkehren nach HBS (2001) wird für die Anwendung des Verfahrens empfohlen, den kapazitätsmindernden Einfluss der Fußgänger in den Zufahrten bis zu einer Verkehrsstärke von 900 Fz/h des bevorrechtigten Verkehrs auf der Kreisfahrbahn vor der betrachteten Zufahrt zu berücksichtigen. Übersteigt die Verkehrsstärke auf der Kreisfahrbahn diesen Wert, wird der Einfluss auf die Fahrmöglichkeiten der untergeordneten Verkehrsteilnehmer so stark, dass eine zusätzlich kapazitätsmindernde Wirkung durch querende Fußgängerströme nicht mehr auftritt. Der dann entstehende Rückstau in den Zufahrten ermöglicht den Fußgängern die Querung zwischen den wartenden Nebenstromfahrzeugen (HBS, 2001).

Kapazitäten der Zufahrten	$C_{Z1} = 3600 \cdot p_{0,123} \cdot \frac{q_1 + q_2 + q_3}{q_1 \cdot t_{b,1} + q_2 \cdot t_{b,2} + q_3 \cdot t_{b,3}}$	Gl. 38
	$\text{mit: } p_{0,123} = (1 - A_{FZ1,123} \cdot B_{s,FZ1}) \cdot \left(1 - (A_{7,123} \cdot B_{s,7} + A_{10,123} \cdot B_{s,10} + A_{11,123} \cdot B_{s,11})\right) \cdot e^{-(A_{4,123} \cdot B_{a,4} + A_{7,123} \cdot B_{a,7} + A_{8,123} \cdot B_{a,8} + A_{10,123} \cdot B_{a,10} + A_{11,123} \cdot B_{a,11} + A_{12,123} \cdot B_{a,12})}$	
	$C_{Z2} = 3600 \cdot p_{0,456} \cdot \frac{q_4 + q_5 + q_6}{q_4 \cdot t_{b,4} + q_5 \cdot t_{b,5} + q_6 \cdot t_{b,6}}$	Gl. 39
	$\text{mit: } p_{0,456} = (1 - A_{FZ2,456} \cdot B_{s,FZ2}) \cdot \left(1 - (A_{1,456} \cdot B_{s,1} + A_{2,456} \cdot B_{s,2} + A_{10,456} \cdot B_{s,10})\right) \cdot e^{-(A_{1,456} \cdot B_{a,1} + A_{2,456} \cdot B_{a,2} + A_{3,456} \cdot B_{a,3} + A_{7,456} \cdot B_{a,7} + A_{10,456} \cdot B_{a,10} + A_{11,456} \cdot B_{a,11})}$	
Kapazitäten der Ausfahrten	$C_{Z3} = 3600 \cdot p_{0,789} \cdot \frac{q_7 + q_8 + q_9}{q_7 \cdot t_{b,7} + q_8 \cdot t_{b,8} + q_9 \cdot t_{b,9}}$	Gl. 40
	$\text{mit: } p_{0,789} = (1 - A_{FZ3,789} \cdot B_{s,FZ3}) \cdot \left(1 - (A_{1,789} \cdot B_{s,1} + A_{4,789} \cdot B_{s,4} + A_{5,789} \cdot B_{s,5})\right) \cdot e^{-(A_{1,789} \cdot B_{a,1} + A_{2,789} \cdot B_{a,2} + A_{4,789} \cdot B_{a,4} + A_{5,789} \cdot B_{a,5} + A_{6,789} \cdot B_{a,6} + A_{10,789} \cdot B_{a,10})}$	
	$C_{Z4} = 3600 \cdot p_{0,101112} \cdot \frac{q_{10} + q_{11} + q_{12}}{q_{10} \cdot t_{b,10} + q_{11} \cdot t_{b,11} + q_{12} \cdot t_{b,12}}$	Gl. 41
	$\text{mit: } p_{0,101112} = (1 - A_{FZ4,101112} \cdot B_{s,FZ4}) \cdot \left(1 - (A_{4,101112} \cdot B_{s,4} + A_{7,101112} \cdot B_{s,7} + A_{8,101112} \cdot B_{s,8})\right) \cdot e^{-(A_{1,101112} \cdot B_{a,1} + A_{4,101112} \cdot B_{a,4} + A_{5,101112} \cdot B_{a,5} + A_{7,101112} \cdot B_{a,7} + A_{8,101112} \cdot B_{a,8} + A_{9,101112} \cdot B_{a,9})}$	
Kapazitäten der Ausfahrten	$C_{A1} = (3600 - A_{FA1,4812} \cdot B_{s,FA1}) \cdot \frac{q_4 + q_8 + q_{12}}{q_4 \cdot t_{b,4} + q_8 \cdot t_{b,8} + q_{12} \cdot t_{b,12}}$	Gl. 42
	$C_{A2} = (3600 - A_{FA2,3711} \cdot B_{s,FA2}) \cdot \frac{q_3 + q_7 + q_{11}}{q_3 \cdot t_{b,3} + q_7 \cdot t_{b,7} + q_{11} \cdot t_{b,11}}$	Gl. 43
	$C_{A3} = (3600 - A_{FA3,2610} \cdot B_{s,FA3}) \cdot \frac{q_2 + q_6 + q_{10}}{q_2 \cdot t_{b,2} + q_6 \cdot t_{b,6} + q_{10} \cdot t_{b,10}}$	Gl. 44
	$C_{A4} = (3600 - A_{FA4,159} \cdot B_{s,FA4}) \cdot \frac{q_1 + q_5 + q_9}{q_1 \cdot t_{b,1} + q_5 \cdot t_{b,5} + q_9 \cdot t_{b,9}}$	Gl. 45
mit	$t_{b,j}$ Zeitbedarfswert für einen Verkehrsteilnehmer des Stroms j nach Tabelle 37 $A_{i,j}$ Konfliktfaktor nach Bild 104 bzw. Bild 107 $B_{s,i}$ Belegzeitanteil des Stromes i nach Gl. 31 $B_{a,i}$ Annäherungszeitanteil des Stromes i nach Gl. 33	[s] [-] [-] [-]

### Kapazität der Ausfahrt

Die Kapazität einer Ausfahrt ist von den möglichen Folgeabständen der Fahrzeuge der betrachteten Verkehrsströme ( $t_{b,j}$ ) sowie den die Ausfahrt querenden Fußgängerströmen abhängig (FA1-FA4). Da davon ausgegangen wird, dass Fußgänger während der Annäherung an die Konfliktfläche keinen kapazitätsmindernden Einfluss auf die Kraftfahrzeugströme haben, entfällt die Ermittlung der

Wahrscheinlichkeit auf Freiheit 2. Art. Für die Ermittlung der Ausfahrtskapazitäten können analog zur Berechnung der Zufahrtskapazitäten ebenfalls vier allgemeingültige Formeln angegeben werden – vgl. Gleichung 42 bis Gleichung 45.

### Zeitbedarfswerte

Für die Kapazitätsermittlung der Zu- und Ausfahrten sind nach dem Konfliktmatrixverfahren die Zeit-

$t_{s,i} = f_{PE,i} \cdot t_{s,i}^*$		Gl. 46	
$t_{b,i} = f_{PE,i} \cdot t_{b,i}^*$			
mit $t_{s,j}$	Zeitbedarfwert für einen Verkehrsteilnehmer des Stroms i, der eine Konfliktfläche überfährt mit Berücksichtigung der Verkehrszusammensetzung	[s]	
$t_{b,i}$	Zeitbedarfwert für einen Verkehrsteilnehmer des Stroms i mit Berücksichtigung der Verkehrszusammensetzung	[s]	
$f_{PE,i}$	Faktor für die Verkehrszusammensetzung des Stroms i nach Gl. 47	[-]	
$t_{s,j}^*$	Zeitbedarfwert für einen Verkehrsteilnehmer des Stroms i, der eine Konfliktfläche überfährt nach Tabelle 37	[s]	
$t_{b,i}^*$	Zeitbedarfwert für einen Verkehrsteilnehmer des Stroms i nach Tabelle 37	[-]	
$f_{PE,i} = \frac{0,5 \cdot q_{i,Rad} + 1,0 \cdot q_{i,Kr} + 1,0 \cdot q_{i,Pkw} + 1,5 \cdot q_{i,LkwB} + 2,0 \cdot q_{i,Lz}}{q_{i,Rad} + q_{i,Kr} + q_{i,Pkw} + q_{i,LkwB} + q_{i,Lz}}$			Gl. 47
mit $f_{PE,i}$	Faktor für die Verkehrszusammensetzung des Stroms i	[-]	
$q_{i,k}$	Verkehrsstärke der Verkehrsteilnehmerart k im Strom i	[Fz/h]	
k	Index der Verkehrsteilnehmerart	[-]	

bedarfswerte von zentraler Bedeutung. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass der Zeitbedarfwert  $t_b$  mit der Folgezeitlücke vergleichbar ist. Die  $t_s$ - und  $t_a$ -Werte stellen nach MAIER et al. (2011) dagegen keine in situ messbaren Zeitbedarfwerte dar und müssen anhand empirischer Daten kalibriert werden (vgl. Kapitel 5.5.2).

Nach MILTNER (2003) wirkt sich die Verkehrszusammensetzung auf die Zeitbedarfwerte  $t_b$  und  $t_s$  aus. Eine Umrechnung der Annäherungszeiten  $t_a$  wird nicht vorgenommen, da die Zeitlückenwahl eines Nebenstromfahrzeugführers unabhängig von der Art des sich nähernden bevorrechtigten Fahrzeuges ist. Analog zu der nach HBS (2001) durchzuführenden Umrechnung der Verkehrsstärke von Fz/h in Pkw-E/h werden beim Konfliktmatrixverfahren die entsprechenden Zeitbedarfwerte angepasst, um dem Einfluss der unterschiedlichen Verkehrszusammensetzung zu entsprechen. Die Umrechnung erfolgt nach Gleichung 46. Die Umrechnungsfaktoren für die verschiedenen Verkehrsteilnehmerarten entsprechen den im HBS (2001) angegebenen Werten.

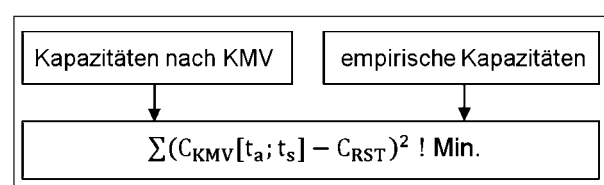
### 5.5.2 Kalibrierung am Untersuchungskollektiv

Das Einfahrverhalten von wartepflichtigen Verkehrsteilnehmern in der Zufahrt eines Minikreisverkehrs durch ausfahrende Fahrzeuge hat Einfluss auf die Kalibrierung der Zeitbedarfwerte. Der nach Kapitel 5.2 ermittelte Ausfahrereinfluss wird durch die Anpassung der Konfliktmatrix im deterministischen Berechnungsmodell des Konfliktmatrixverfahrens berücksichtigt. Dabei wird aus pragmati-

schen Gründen auf eine Differenzierung der Minikreisverkehre mit drei bzw. vier Zufahrten verzichtet. Die in Kapitel 5.3 beschriebenen Regressionsgleichungen haben gezeigt, dass Unterschiede zwischen diesen Anlagen vergleichsweise gering ausfallen und eine gemeinsame Betrachtung rechtfertigen. Auf Basis der in Tabelle 29 über alle beobachteten Anlagen gemittelten Werte wird der Ausfahrereinflusses in der Konfliktmatrix pauschal mit 20 % berücksichtigt (vgl. Bild 107).

Auf Basis der angepassten Konfliktmatrix wird eine Kalibrierung der Zeitbedarfwerte  $t_b$ ,  $t_s$  und  $t_a$  vorgenommen. Der Zeitbedarfwert  $t_b$  ist definitionsgemäß mit der Folgezeitlücke vergleichbar und ergibt sich nach den Erhebungsergebnissen in Tabelle 37 zu  $t_b = 3,1$  s.

Die Zeitbedarfwerte  $t_s$  und  $t_a$  werden anhand der für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau erhobenen Kapazitäten (Einzelwerte) angepasst. Dabei werden unter Veränderung der Zeitbedarfwerte  $t_s$  und  $t_a$  die Abweichungen zwischen den nach Konfliktmatrixverfahren berechneten und den für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau erhobenen Kapazitäten nach der Methode der kleinsten Quadrate minimiert (Bild 106).



**Bild 106:** Methodik zur Kalibrierung des Konfliktmatrixverfahrens



Konflikt- auflösung Aij		Konfliktmatrix für Minikreisverkehre mit FGÜ / ohne FGÜ																			
		Z1			Z2			Z3			Z4			FZ1	FZ2	FZ3	FZ4	FA1	FA2	FA3	FA4
Konkurrenzstrom i		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12								
1				1	1	1	1	1	1	0,2	0,2	0,2	0/1								0
2				1	1	1	0,2	0,2	0,2				0/1							0	
3				0,2	0,2	0,2							0/1						0		
4	0,2	0,2	0,2				1	1	1	1	1	1		0/1			0				
5							1	1	1	0,2	0,2	0,2		0/1							0
6							0,2	0,2	0,2					0/1						0	
7	1	1	1	0,2	0,2	0,2				1	1	1			0/1			0			
8	0,2	0,2	0,2							1	1	1			0/1		0				
9										0,2	0,2	0,2			0/1						0
10	1	1	1	1	1	1	0,2	0,2	0,2							0/1				0	
11	1	1	1	0,2	0,2	0,2										0/1		0			
12	0,2	0,2	0,2													0/1	0				
FZ1	1/0	1/0	1/0																		
FZ2				1/0	1/0	1/0															
FZ3							1/0	1/0	1/0												
FZ4										1/0	1/0	1/0									
FA1				1				1				1									
FA2				1				1				1									
FA3		1					1					1									
FA4	1				1					1											

Bild 107: Angepasste Konfliktmatrix für Minikreisverkehre

Verkehrsstrom	Zeitbedarfswerte		
	t <sub>b</sub> [s]	t <sub>s</sub> [s]	t <sub>a</sub> [s]
1 bis 12	3,1	2,2	1,5
Fußgängerströme (Zufahrt)	-	2,6	-
Fußgängerströme (Ausfahrt)	-	2,9	-

Tab. 37: t-Werte – Kalibrierungsbasis

Die Kalibrierung führt zu den in Tabelle 37 angegebenen Zeitbedarfswerten. Die für die Fußgängerströme in Tabelle 37 aufgeführten Werte ergeben sich aus den Videoauswertungen der mittleren Querungszeiten nach Bild 75 (Zufahrt: Differenz aus Zeitstempel 2 und 3 bzw. 3 und 2, Ausfahrt: Differenz aus Zeitstempel 4 und 5 bzw. 5 und 4).

### 5.5.3 Ergebnisse

Die auf Basis des kalibrierten Konfliktmatrixverfahrens berechneten Kapazitäten werden den erhobenen Kapazitäten gegenübergestellt. Eine Darstellung der Kapazitätsfunktion, wie sie für den Regressionsansatz (vgl. Bild 92) oder das Zeitlückenverfahren (vgl. Bild 101) erfolgte, ist für das Konfliktmatrixverfahren nicht möglich. Aufgrund des Berechnungsalgorithmus ergeben sich

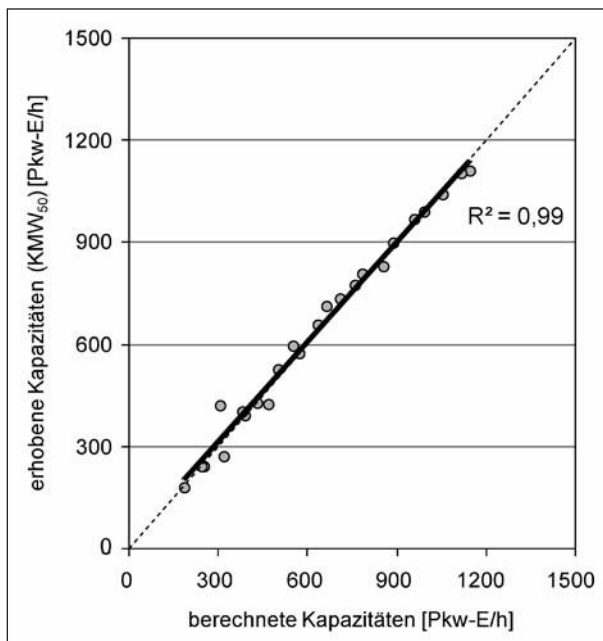
- die Wahrscheinlichkeit für die Blockierung der Konfliktfläche durch bevorrechtigte Verkehrsteilnehmer in Abhängigkeit der Verkehrsstärke der bevorrechtigten Ströme im Kreis und

- die Wahrscheinlichkeit, dass sich kein bevorrechtigter Verkehrsteilnehmer der Konfliktfläche nähert, in Abhängigkeit der Verkehrsstärke der bevorrechtigten Verkehrsströme im Kreis zuzüglich 20 % des am betrachteten Knotenarm ausfahrenden Verkehrs.

Dadurch ergeben sich mit der Verkehrsstärke im Kreis und der Verkehrsstärke des ausfahrenden Stroms zwei unabhängige Größen für die Kapazitätsfunktion, welche den Verlauf dieser Funktion maßgeblich bestimmen. Zusätzlich wird die Kapazitätsfunktion durch die Verkehrszusammensetzung in den bevorrechtigten und den betrachteten Verkehrsströmen beeinflusst.

Eine Beurteilung der Kalibrierung des Konfliktmatrixverfahrens erfolgt daher durch die Gegenüberstellung der erhobenen Kapazitäten mit den für die Erhebungszustände (Verkehrszusammensetzung, Verkehrsstärken der bevorrechtigten Ströme und der Ausfahrer) nach dem Konfliktmatrixverfahren berechneten Kapazitäten. Auf einen Vergleich der für die Intervalle mit ständigem Rückstau erhobenen Einzelwerte mit den Berechnungsergebnissen wird verzichtet, da diese Werte als Kalibrierungsgrundlage für die Zeitbedarfswerte verwendet wurden. Daher muss sich für diese Werte im Mittel zwangsläufig eine gute Übereinstimmung ergeben.

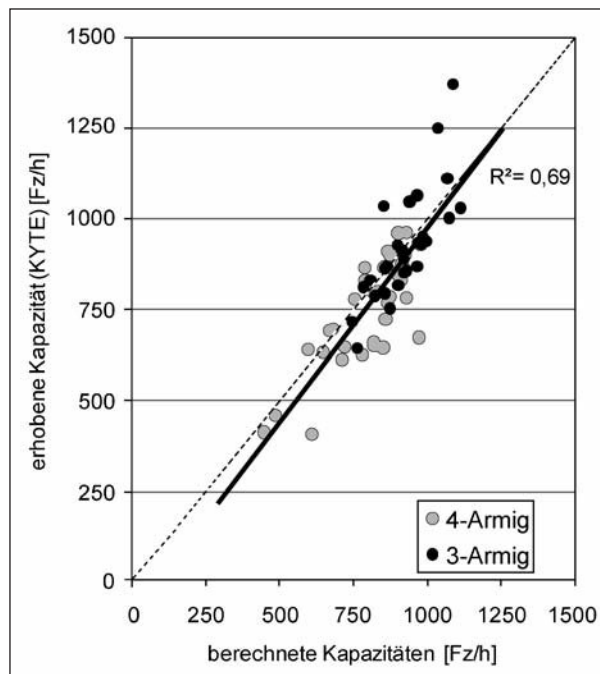
In Bild 108 sind die für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau klassifizierten Kapazitäten (KMW<sub>50</sub>)



**Bild 108:** Erhobene Kapazitäten (klassifizierte Werte für die Intervalle mit ständigem Rückstau –  $KMW_{50}$ ) und nach Konfliktmatrixverfahren berechnete Kapazitäten

den Berechnungsergebnissen des Konfliktmatrixverfahrens gegenübergestellt. Die erhobenen Werte wurden für die Verkehrsstärken der bevorrechtigten Ströme und 15 % der Ausfahrer in 50 Fz-Klassen zusammengefasst ( $KMW_{50}$ ). Die in Bild 108 schwarz dargestellte Regressionsgerade zeigt eine gute Übereinstimmung der erhobenen Kapazitäten mit den Berechnungsergebnissen. Dies ist damit zu erklären, dass es sich um die klassifizierte Werte der Kalibrierungsgrundlage handelt. Festzustellen ist aber, dass mit der Kalibrierung des Konfliktmatrixverfahrens eine gute Abbildung der realen Verhältnisse über nahezu das gesamte Kapazitätsspektrum (150 Pkw-E/h bis 1.150 Pkw-E/h) erreicht wird.

Als weitere Vergleichsbasis wurden die nach dem Verfahren von KYTE (vgl. Kapitel 5.3.3) für die 20 Erhebungsstunden abgeschätzten Kapazitäten verwendet. Die Gegenüberstellung der nach KYTE abgeschätzten Kapazitäten mit den berechneten Kapazitäten in Bild 109 zeigt größere Abweichungen als der Vergleich in Bild 108. Die (schwarz dargestellte) Regressionsgerade auf Basis der Kapazitäten der dreiarmigen und vierarmigen Minikreisverkehre deutet jedoch für Kapazitäten über 750 Fz/h im Mittel auf eine gute Übereinstimmung hin. Im Bereich niedrigerer Kapazitäten (< 500 Fz/h) sind die Abweichungen deutlich. Allerdings hat sich bereits bei der Re-



**Bild 109:** Erhobene Kapazitäten (Stundenwerte nach KYTE) und nach Konfliktmatrixverfahren berechnete Kapazitäten

gressionsanalyse in Kapitel 5.3.4 gezeigt, dass die nach KYTE abgeschätzten Kapazitäten nur als bedingt zuverlässig angesehen werden können.

Eine abschließende Beurteilung des Konfliktmatrixverfahrens für Minikreisverkehre erfolgt durch mikroskopische Verkehrsflusssimulationen. Ein Alleinstellungsmerkmal des Konfliktmatrixverfahrens gegenüber den anderen Verfahren ist die unmittelbare Berücksichtigung des Einflusses nichtmotorisierter Verkehrsteilnehmer. Dieser Einfluss wurde in den bisherigen Betrachtungen nicht behandelt. Anhand der mikroskopischen Verkehrsflusssimulationen sollen Effekte unterschiedlicher Fußgängerbelastungen analysiert werden und dem im Verfahren implementierten Berechnungsansatz gegenübergestellt werden (vgl. Kapitel 5.6.3).

Das Konfliktmatrixverfahren ermöglicht auch Kapazitätsberechnungen für Ausfahrten von Minikreisverkehren (vgl. Gleichung 42 bis Gleichung 45 in Kapitel 5.5.1). Da eine Kapazitätsbestimmung der Ausfahrten anhand der empirischen Daten nicht möglich war, erfolgt die Validierung dieses Berechnungsansatzes ebenfalls im Rahmen der mikroskopischen Verkehrsflusssimulationen – siehe Kapitel 5.6.5.

## 5.6 Mikroskopische Verkehrsflusssimulation

### 5.6.1 Ziel und Arbeitsgrundlage

Um auch Belastungsbereiche zu untersuchen, die in der Realität nicht vorlagen, und dafür Kapazitätskennwerte zu ermitteln, wurde der Verkehrsablauf an einem vierarmigen Minikreisverkehr mit dem mikroskopischen Simulationsprogramm VISSIM 5.3 simuliert. Das Programm VISSIM der PTV AG ist ein „mikroskopisches, zeitschrittorientiertes und verhaltensbasiertes Simulationsmodell zur Nachbildung von Stadt- und Außerortsverkehr sowie Fußgängerströmen“ (PTV, 2010).

Das Verkehrsverhalten wird in VISSIM durch das Fahrzeugfolgemodell nach WIEDEMANN (1974) abgebildet. Wichtige Größen, welche das Verhalten der Verkehrsteilnehmer kennzeichnen, sind die Wunschgeschwindigkeit sowie der Wunschsicherheitsabstand zum Vorfahrenden. Letzterer setzt sich aus einem Stillstandabstand und einem geschwindigkeitsabhängigen Abstand zusammen.

Grundgedanke des Modells von WIEDEMANN bildet die Beschreibung der Verhaltensweise eines Fahrzeugführers, der auf ein langsamer fahrendes Vorderfahrzeug aufschließt (Bild 110). Im Bereich des unbeeinflussten Fahrens („Freies Verhalten“) wird aufgrund des großen Abstandes  $\Delta x$  eine Annäherung nicht wahrgenommen. Unterschreitet der Abstand eine Wahrnehmungsschwelle, verzögert der aufschließende Fahrzeugführer auf einen Wunschsicherheitsabstand. Da die „Messgenauigkeit“ der menschlichen Wahrnehmungsorgane nicht vollkommen ist, kann die Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden Fahrzeugen vom folgenden Fahrzeugführer nicht präzise eingeschätzt werden,

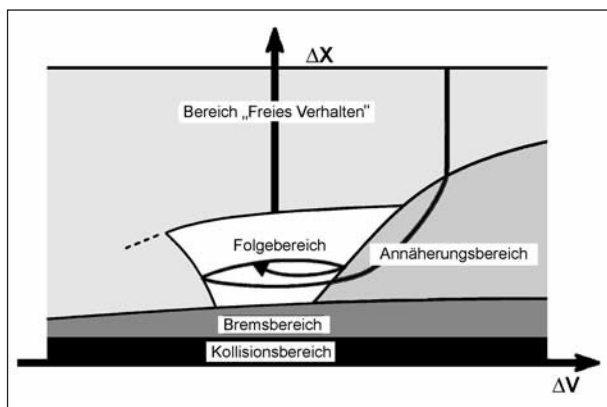


Bild 110: Darstellung des Fahrzeugfolgeverhaltens nach WIEDEMANN (PTV, 2010)

wodurch die Reduktion der Geschwindigkeit meist zu groß ausfällt und sich der Abstand zwischen den Fahrzeugen wieder vergrößert. Überschreitet dieser Abstand wiederum einen Schwellenwert der Wahrnehmung, beschleunigt der Folgende, um den Abstand auf den Wunschsicherheitsabstand einzustellen. Durch diese Wahrnehmungsungenauigkeiten entstehen fortlaufende Pendelbewegungen des folgenden Fahrzeugs um den Wunschsicherheitsabstand herum.

### Modell eines vierarmigen Minikreisverkehrs

Als Grundlage des Simulationsmodells wurde ein Minikreisverkehr aus der Stadt Greven verwendet (Messstelle 7). Dabei handelt es sich um einen vierarmigen nahezu rechtwinkligen Knoten, dessen Kreisfläche einen Außendurchmesser von 19,5 m aufweist. Die Kreisfläche teilt sich in eine umlaufende Kreisfahrbahn von 5,25 m Breite und eine überfahrbare Kreisinsel mit einem Durchmesser von 9 m, welche asphaltiert befestigt und mit einem umlaufenden Bord (3 cm Höhenunterschied) ausgebildet ist (Bild 111). Zusätzlich sind die in Nordrhein-Westfalen typischen Pfeilmarkierungen auf der Kreisfahrbahn markiert.

Der Erstellung des Simulationsmodells wurden folgende Eingangsdaten zugrunde gelegt:

- maßstabsgerechter Lageplan des Minikreisverkehrs,
- Einzelzählraten der morgendlichen und nachmittäglichen Spitzenstunde in Form einer Verkehrsstrommatrix getrennt nach Fahrzeugarten,
- Grenz- und Folgezeitlücken über alle Zufahrten (vgl. Kapitel 5.4.2),

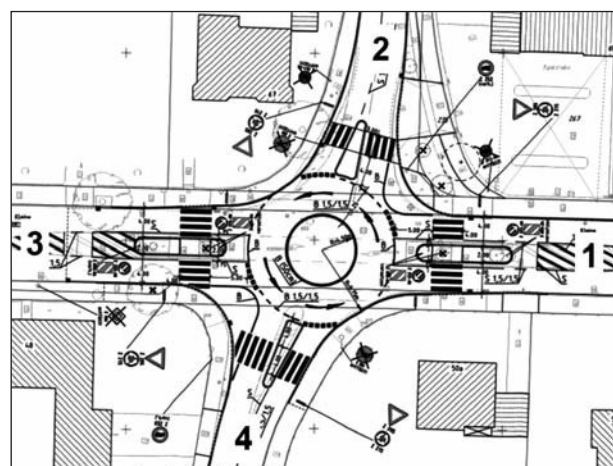


Bild 111: Lageplan des untersuchten Minikreisverkehrs und Zuordnung der Zufahrtsnummerierung

- unbeeinflusste Geschwindigkeiten der freien Strecke und Einfahrgeschwindigkeiten der Pkw in den Zufahrten (vgl. Kapitel 5.1.2) sowie
- Querungszeiten der Fußgänger in den Zu- bzw. Ausfahrten (vgl. Kapitel 5.1.3).

Weiterhin konnten auf Basis der Videoaufnahmen folgende Kenngrößen ausgewertet und dem Simulationsmodell zugrunde gelegt werden:

- Geschwindigkeiten im Kreis differenziert für den Pkw- und Schwerverkehr,
- Fahrverhalten des Schwerverkehrs im Kreis (Fahrlinien) sowie
- Reisezeiten für alle Fahrzeuge über definierte Querschnitte von 35 bis 65 m vor der Zufahrt bis 35 bis 65 m hinter der Ausfahrt (Messquerschnitte wurden in Abhängigkeit der Sichtbedingungen für die einzelnen Knotenarme festgelegt).

Bei der Erstellung des Netzmodells mussten die besonderen Bewegungsvorgänge des Schwerverkehrs berücksichtigt werden. Auf Basis der beobachteten Fahrlinien wurden für den Schwerverkehr separate Verbindungen zwischen den Zu- und Ausfahrten vorgesehen (Bild 112). Für den Leichtverkehr (Rad, Krad, Pkw und Lkw unter 3,5 t) wurden diese Verbindungen gesperrt, damit das simulierte Fahrverhalten mit dem für den Normalfall beobachteten Verhalten übereinstimmt. Um Konflikte zwischen Schwer- und Leichtverkehr zu unterbinden, wurde eine Reihe von Querverkehrsstörungen in Form von Zeit- und Weglücken in das Modell implementiert.

Die Verteilungen der Wunschgeschwindigkeiten der freien Strecke wurden auf Basis der in den Zufahr-



**Bild 112:** Netzmodell des untersuchten Minikreisverkehrs

ten erhobenen Geschwindigkeiten (SR4-Daten nach Kapitel 5.1.2) bestimmt. Den Langsamfahrbereichen im Kreis wurden die für die einzelnen Bewegungsvorgänge auf Basis der Videodaten ermittelten Geschwindigkeiten zugrunde gelegt.

Um die Beeinflussung der wartepflichtigen Verkehrsteilnehmer durch die Ausfahrer auch im Modell abbilden zu können, wurden für jeden Verkehrsstrom zwei Fahrzeugtypen (und folglich auch zwei Fahrzeugklassen) definiert:

- Fahrzeuge, die keinen Einfluss auf wartende Verkehrsteilnehmer ausüben, und
- Fahrzeuge, die einen Einfluss auf wartende Verkehrsteilnehmer ausüben.

Unter Berücksichtigung des Schwerverkehrs (differenziert nach Bus und Lkw) sowie der Fußgänger ergaben sich somit 27 Fahrzeugtypen und -klassen. Der Ausfahrereinfluss wurde dann durch spezifische Definition der Querverkehrsstörungen und der Verkehrszusammensetzung mit 25 % berücksichtigt (vgl. Kapitel 5.2.3).

Für das so erstellte Modell konnten die Kapazitäten jedoch nicht direkt in VISSIM ermittelt werden. Dafür waren mehrere Simulationsläufe unter Auslastung einzelner Zufahrten bei verschiedenen Verkehrsstärken notwendig. Um möglichst realitätsnahe Ergebnisse zu erreichen, war eine weitere Kalibrierung des Modells nötig.

## 5.6.2 Kalibrierung des Simulationsmodells

Zur Kalibrierung des Simulationsmodells wurde eine Anpassung verschiedener Modellparameter vorgenommen. Eine Kalibrierung auf Basis von Kapazitätswerten war dabei nicht möglich, da diese den Untersuchungsgegenstand bilden. In den Hinweisen zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation (FGSV, 2006c) wird zur Kalibrierung des Verkehrsablaufs an plangleichen Knotenpunkten u. a. die Reisezeit empfohlen. Da diese Größe mit Hilfe der Videoaufzeichnungen gut erhoben werden konnte, wurde die Kalibrierung auf Basis dieser Daten vorgenommen. Dazu wurden Messquerschnitte in den Videoaufnahmen definiert und deren Abstand zum Rand der Kreisfahrbahn mit Hilfe von Luftbildern ermittelt. Auf den zu- und wegführenden Strecken im Modell des Minikreisverkehrs wurden dann in den entsprechenden Abständen zur Kreisfahrbahn Querschnitte für Reisezeitenmessungen angelegt.

Zur Anpassung des Simualitonsmodells wurden die Modellparameter „Zeitlücken der Querverkehrsstörungen“ sowie die „Fahrverhaltensparameter“ in einem iterativen Prozess so lange variiert, bis die Abweichungen zwischen simulierten und beobachteten Reisezeiten minimal wurden. Zur Überprüfung dieser Übereinstimmung wurden gemäß FGSV (2006c) für die Mittelwerte der Reisezeiten der Root Mean Square Error (RMSE) nach Gleichung 48 und der Root Mean Square Percent Error (RMSPE) nach Gleichung 49 bestimmt. Der RMSE-Wert gibt hierbei das absolute Fehlermaß als Wurzel der mittleren quadrierten Abweichung an. Ergänzend dazu gibt der RMSPE-Wert die Größe des relativen Fehlers an.

Maßgebend für die Beurteilung der unterschiedlichen Kalibrierungen waren die für die 12 Verkehrsströme mit den Verkehrsstärken gewichteten mittleren Reisezeitabweichungen für 10 Simulationsläufe (gewichteter mittlerer RSME).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N (x_n^{sim} - x_n^{obs})^2} \quad \text{Gl. 48}$$

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \left( \frac{x_n^{sim} - x_n^{obs}}{x_n^{obs}} \right)^2} \quad \text{Gl. 49}$$

mit

RMSE absolute Fehler in Form der Wurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung [s]

RMSPE relativer Fehler in Form der Wurzel aus der mittleren quadratischen Abweichung [-]

N Anzahl der Simulationsläufe [-]

$x^{sim}$  simulierte mittlere Reisezeiten [s]

$x^{obs}$  erhobene mittlere Reisezeiten [s]

Die beste Übereinstimmung zwischen Simulationsmodell und Erhebungsdaten konnte bei einer Zeitlücke von 3,1 s für die Querverkehrsstörungen in den Zufahrten und einer Verringerung des additiven Einflussfaktors auf 1,5 (Standardwert: 2,0) erreicht werden. Die übrigen Fahrverhaltensparameter (mittlerer Stillstandabstand sowie multiplikativer Einflussfaktor) wurden nicht verändert. Die Zeitlücke von 3,1 s entspricht der für Minikreisverkehre beobachteten Nullzeitlücke (vgl. Kapitel 5.4.2). Ta-

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Verkehrsstrom (von/nach)	$q_i$ [Fz/h]	$x^{obs}$ [s]	$x^{sim}$ [s]	RMSE [s]	RMSPE [-]
1/2	47	14,4	14,5	0,7	0,05
1/3	398	18,7	20,4	1,8	0,09
1/4	86	20,0	20,0	0,5	0,03
2/1	40	19,6	18,9	1,1	0,06
2/3	60	18,8	17,8	1,2	0,06
2/4	70	19,2	17,6	1,8	0,10
3/1	348	18,7	19,2	0,6	0,03
3/2	61	22,3	20,9	1,5	0,07
3/4	29	21,1	17,3	4,0	0,19
4/1	88	15,4	14,7	1,1	0,07
4/2	69	18,3	16,9	1,6	0,09
4/3	21	25,7	22,0	3,9	0,15
<b>gewichteter Mittelwert</b>		<b>18,8</b>	<b>19,0</b>	<b>1,3</b>	<b>0,07</b>

Tab. 38: Ergebnisse der Kalibrierung und Fehlermaße nach zehn Simulationsdurchläufen

belle 38 zeigt die Fehlermaße für die einzelnen Verkehrsströme bei Verwendung dieser Simulationsparameter. In Spalte (2) sind die gemessenen Verkehrsstärken und in Spalte (3) die erhobenen mittleren Reisezeiten der nachmittäglichen Spitzens-tunde angegeben. Die simulierten Werte in Spalte (4) stellen einen mittleren Stundenwert über zehn Simulationsläufe dar. Die übrigen Spalten (5) und (6) mit den Fehlermaßen beziehen sich ebenfalls auf 10 Simulationsläufe.

Die relativen Fehlermaße in Tabelle 38 liegen zwischen 3 % und 19 %, wobei die mittlere Abweichung (verkehrsstärkegewichtet) bei 7 % liegt. Die vergleichsweise großen Fehlermaße für einige Verkehrsströme sind dadurch zu erklären, dass bei der Kalibrierung für alle zufahrenden Ströme die gleiche Zeitlücke verwendet werden sollte, da für verallgemeinernde Aussagen zufahrts- bzw. verkehrsstromspezifische Zeitlücken als nicht zielführend erachtet wurden. Weiterhin ist in Tabelle 38 zu erkennen, dass die für die drei Verkehrsströme einer Zufahrt im Mittel simulierten Reisezeiten häufig sowohl über als auch unter den erhobenen Reisezeiten lagen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass den empirischen Reiszeitmessungen zum Teil recht geringe Stichproben zugrunde lagen. Zur Validierung des kalibrierten Modells erfolgte eine weitere Gegenüberstellung der für die Morgenspitzenstunde erhobenen Reisezeiten mit den entsprechenden

Simulationsdaten. Dabei zeigten sich vergleichbare Fehlermaße wie für die Nachmittagsspitzenstunde.

### Anzahl notwendiger Simulationsdurchgänge

Die Ableitung von Kapazitätsaussagen auf Grundlage eines einzigen Simulationsdurchganges kann aufgrund der Zufälligkeit des Verkehrszustandes fehlerhaft sein. Um dies weitestgehend auszuschließen, wurde mit der in FGSV (2006c) empfohlenen Vorgehensweise die notwendige Anzahl an Simulationsläufen ermittelt (Gleichung 50). So ist sichergestellt, dass der reale Mittelwert bei Betrachtung verschiedener Verkehrszustände für ein angestrebtes Signifikanzniveau  $\alpha$  in einem Konfidenzintervall  $E$  um den mit Hilfe der Simulation bestimmten Mittelwert liegt. Um die notwendige Anzahl der Simulationsläufe  $n$  bestimmen zu können, muss die Standardabweichung  $s$  des Simulationsergebnisses geschätzt werden. Dazu sind nach FGSV (2006c) Voruntersuchungen notwendig. Hier wurde auf die 10 Simulationsläufe der Kalibrierung zurückgegriffen. Das Signifikanzniveau sollte bei 90 % liegen. Nach Gleichung 50 ergibt sich für ein Konfidenzintervall von 1 s ein notwendiger Stichprobenumfang von 10 Simulationsläufen. Maßgebend für die notwendige Anzahl an Simulationsläufen war der am zweitschwächsten belastete Verkehrsstrom von Zufahrt 3 nach Ausfahrt 4.

$$n \geq \frac{t(\alpha, n-1)^2 \cdot s^2}{E^2} \quad \text{Gl. 50}$$

mit

$n$	Anzahl der erforderlichen Simulationsläufe	[-]
$t(\alpha, n-1)$	Wert der Student-Verteilung für die Wahrscheinlichkeit eines Fehlers	[-]
$s$	Standardabweichung der untersuchten Kenngröße aus der Voruntersuchung	[s]
$E$	Konfidenzintervall bzw. Differenz der Ergebnisse zweier Simulationsexperimente, die gerade noch als signifikant erkannt werden soll	[s]

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse basieren auf Simulationsuntersuchungen des kalibrierten Simulationsmodells, bei denen mindestens 10 Simulationsläufe mit unterschiedlichen Startzufallszahlen durchgeführt wurden. Kapazitäten wurden durch die Überlastung einzelner Zufahrten über den gesamten Simulationszeitraum (1h) bestimmt.

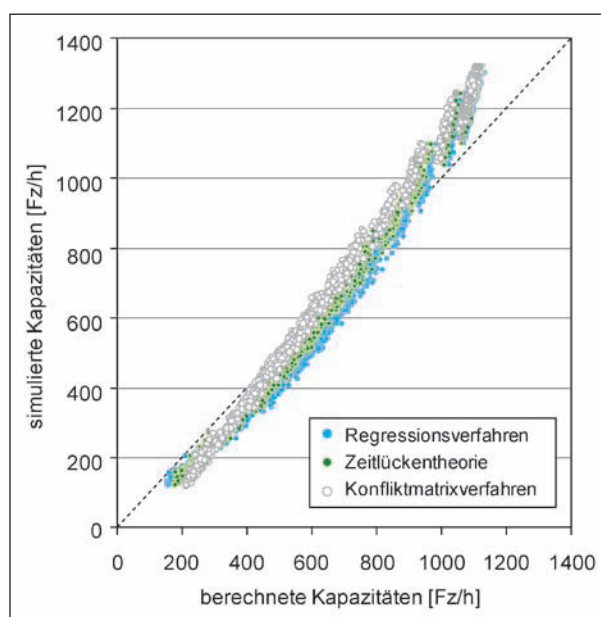
### 5.6.3 Kapazität der Zufahrt ohne bevorrechtigte Fußgängerströme

Bei unterschiedlichen Verkehrsbelastungen im Kreis und variierenden Schwerverkehrsanteilen zwischen 0 % und 5 % im einfahrenden Strom und den bevorrechtigten Strömen wurden für 1.200 Simulationsstunden Kapazitäten ermittelt. Fußgängerströme wurden in diesem Simulationsmodell zunächst vernachlässigt.

In Bild 113 sind die simulierten Kapazitäten den berechneten Ergebnissen der drei untersuchten Verfahren gegenübergestellt. Für das Regressionsverfahren wurden der in Kapitel 5.3.6 beschriebene Ansatz, für das Zeitlückenverfahren der in Kapitel 5.4.5 erläuterte Ansatz und für das Konfliktmatrixverfahren der kalibrierte Ansatz nach Kapitel 5.5.2 verwendet. Die Gegenüberstellung in Bild 113 zeigt für Kapazitäten über 300 Fz/h, dass sich nach dem Konfliktmatrixverfahren die niedrigsten Kapazitäten im Vergleich zum Regressions- und Zeitlückenverfahren ergeben. Das Regressionsverfahren liefert im genannten Bereich die höchsten Kapazitätswerte.

Für den Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Berechnungsverfahren wird nach zwei Teilbereichen unterschieden:

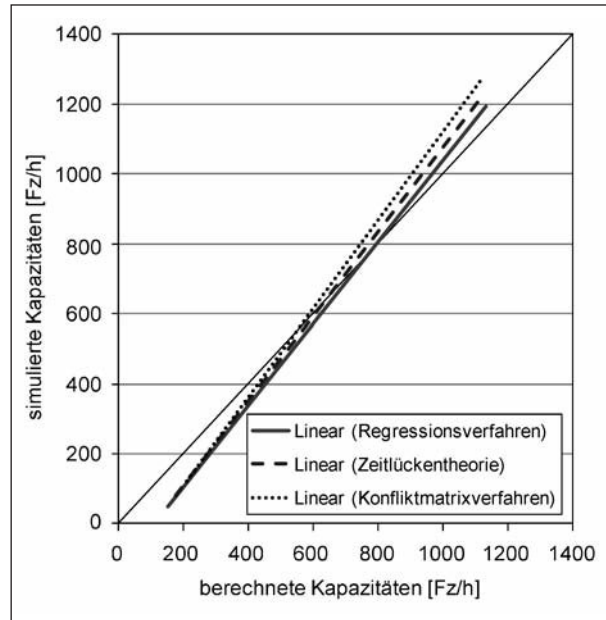
- Kapazitäten über 900 Fz/h und
- Kapazitäten unter 900 Fz/h.



**Bild 113:** Simulierte und nach Regressionsverfahren bzw. Zeitlückentheorie bzw. Konfliktmatrixverfahren berechnete Kapazitäten – Einzelwerte

Im Bereich hoher Kapazitäten ( $C > 900$  Fz/h) liegen die berechneten Kapazitäten systematisch unter den simulierten Werten. Dabei ergeben sich für das Regressionsverfahren die geringsten und für das Konfliktmatrixverfahren die größten Abweichungen zwischen simulierten und berechneten Kapazitäten. Diese deutlichen Unterschiede im Bereich hoher Kapazitäten konnten beim Vergleich der Berechnungsverfahren mit den empirisch erhobenen Kapazitäten (30-Sekundenintervalle mit ständigem Rückstau) nicht beobachtet werden. Vielmehr ließ sich auch in diesem Kapazitätsbereich eine gute Anpassung der deterministischen Berechnungsmodelle mit den erhobenen Werten erkennen. Daher wird die Ursache für die bei der Simulationsuntersuchung beobachteten Abweichungen in der Kalibrierung des Simulationsmodells gesehen. Die der Kalibrierung zugrunde liegenden Reisezeiten wurden für Kapazitätsbereiche von 400 Fz/h bis 1.000 Fz/h erhoben. Folglich handelt es sich bei den simulierten Kapazitäten über 1.000 Fz/h um aus der Simulation extrapolierte Daten, für die keine unmittelbare Kalibrierungsbasis vorlag. Die für diesen Kapazitätsbereich beobachteten Abweichungen resultieren vermutlich aus einer unzureichenden Anpassung des Simulationsmodells an die realen Verhältnisse. Hier wird vor allem ein Zusammenhang mit der Verringerung der Fahrverhaltensparameter (additiver Einflussfaktor) gesehen.

Die simulierten Kapazitäten bis 900 Fz/h weisen eine deutlich bessere Übereinstimmung mit den berechneten Werten auf. So betragen die absoluten Abweichungen zwischen simulierten und berechneten Kapazitäten (RMSE) in diesem Bereich für das Regressionsverfahren 62 Fz/h und für das Zeitlückenverfahren sowie das Konfliktmatrixverfahren 52 Fz/h. Zur weiteren Beurteilung der Übereinstimmungsgüte zwischen Simulationsergebnissen und Berechnungsverfahren sind in Bild 114 die linearen Regressionsgeraden der Einzeldaten aus Bild 113 dargestellt. Wird die Lage der Regressionsgeraden im Bezug zur Winkelhalbierenden als Gütemaß interpretiert, so ist für das Regressionsverfahren und das Zeitlückenverfahren eine bessere Abbildung der Simulationsergebnisse als durch das Konfliktmatrixverfahren zu erkennen. Folglich ist unter Berücksichtigung der absoluten Abweichungen (RMSE) und der Lage der Regressionsgeraden die beste Übereinstimmung mit den Simulationsergebnissen für die Kapazitätswerte des Zeitlückenverfahrens zu verzeichnen. Zur Ergänzung sind im Kapitel 8.8 die simulierten Kapazitäten den Kapazitätswerten nach dem Zeitlückenverfahren und dem Regressionsansatz gegenübergestellt.



**Bild 114:** Simulierte und nach Regressionsverfahren bzw. Zeitlückentheorie bzw. Konfliktmatrixverfahren berechnete Kapazitäten – Regressionsgeraden

Bei den bisherigen Simulationsläufen wurde der Einfluss von querenden Fußgängern vernachlässigt. Weitere Simulationsuntersuchungen unter Berücksichtigung dieses Einflusses wurden zur Validierung der in den Berechnungsmodellen enthaltenen Ansätze zur Berücksichtigung bevorzogter Fußgängerströme durchgeführt.

#### 5.6.4 Kapazität der Zufahrt mit bevorzugten Fußgängerströmen

Fußgänger, die eine Kreisverkehrszufahrt queren, sind nur dann gegenüber dem Kraftfahrzeugverkehr bevorzugt, wenn in der Zufahrt ein Fußgängerüberweg angelegt ist. Befindet sich kein Fußgängerüberweg in der Zufahrt, so sind die Fußgänger wartepflichtig und in den Kreisverkehr einfahrende Fahrzeuge müssen ausschließlich den bevorzugten Fahrzeugverkehr im Kreis beachten. Diese Regelung wird beim Konfliktmatrixverfahren durch die Verwendung der angepassten Konfliktmatrix nach Bild 107 berücksichtigt. Bei dem Zeitlückenverfahren und dem Regressionsansatz erfolgt die Berücksichtigung bevorzogter Fußgängerströme durch die Abminderung der Kapazitäten mit dem Faktor  $f_f$  aus dem HBS (2001) nach Gleichung 25 (vgl. Kapitel 5.4.1). Der Faktor  $f_f$  ergibt sich in Abhängigkeit der Fußgängerstärke und der Verkehrsstärke des bevorzugten Stroms im Kreis.

Bei der Simulation wird ausschließlich der Einfluss querender Fußgänger unter der Annahme untersucht, dass Fußgängerüberwege in den Zufahrten vorhanden und die Fußgänger somit bevorrechtigt sind. Durch Verkehrsflusssimulationen wurde der Einfluss der die Zufahrt querenden Fußgänger bei unterschiedlichen Fußgängerverkehrsstärken ( $q_{FG}$ : 0 Fg/h bis 500 Fg/h) auf die Kapazitäten der Fahrzeugströme überprüft. Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze zur Berücksichtigung des Fußgängereinflusses erfolgen die Analysen getrennt für das Regressions- bzw. Zeitlückenverfahren einerseits und das Konfliktmatrixverfahren andererseits.

### Regression- und Zeitlückenverfahren

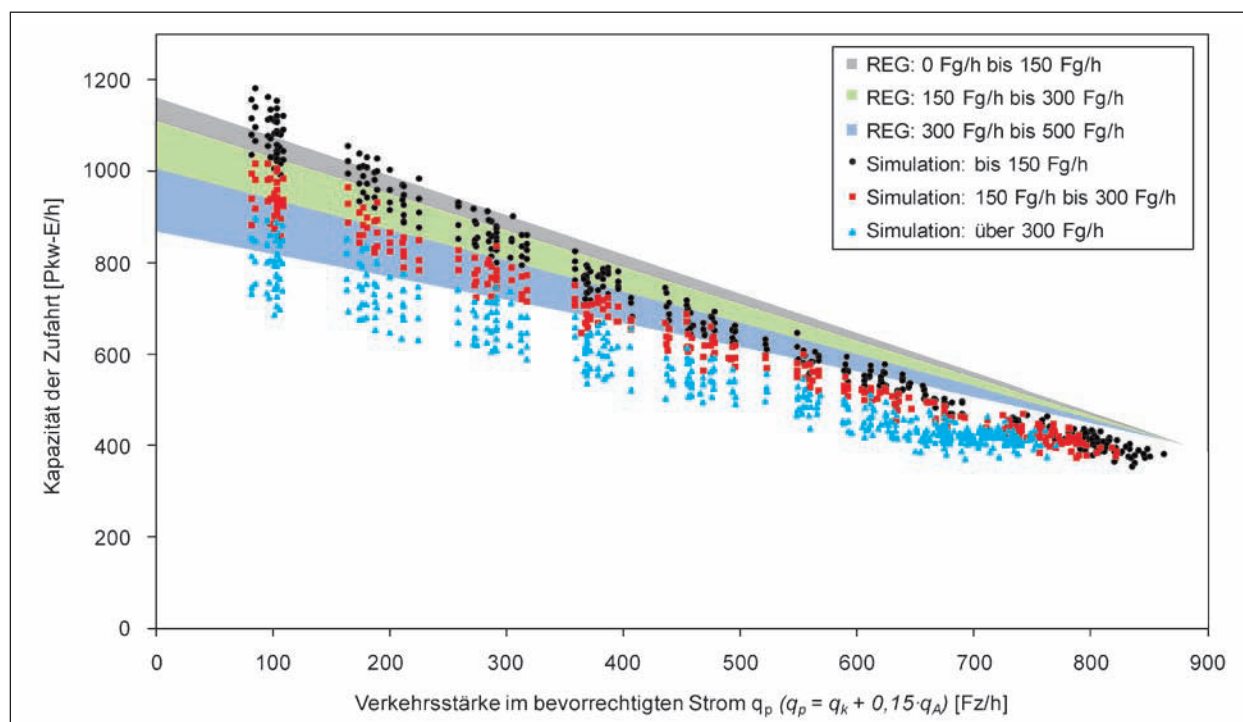
In Bild 115 bzw. Bild 116 sind die Simulationsergebnisse den Berechnungsergebnissen nach dem Regressionsverfahren bzw. dem Zeitlückenverfahren für unterschiedliche Fußgängerbelastungen gegenübergestellt. Für die Berechnungsverfahren sind die Kapazitäten dargestellt, welche sich für die untersuchten Fußgängerverkehrsstärkebereiche in Abhängigkeit des bevorrechtigten Verkehrs im Kreis ergaben. Dabei wurden folgende Grenzen festgelegt:

- grauer Bereich: Obergrenze für Fußgängerverkehrsstärken von 0 Fg/h und Untergrenze für Fußgängerverkehrsstärken von 150 Fg/h,

- grüner Bereich: Obergrenze für Fußgängerverkehrsstärken von 150 Fg/h und Untergrenze für Fußgängerverkehrsstärken von 300 Fg/h,
- blauer Bereich: Obergrenze für Fußgängerverkehrsstärken von 300 Fg/h und Untergrenze für Fußgängerverkehrsstärken von 500 Fg/h.

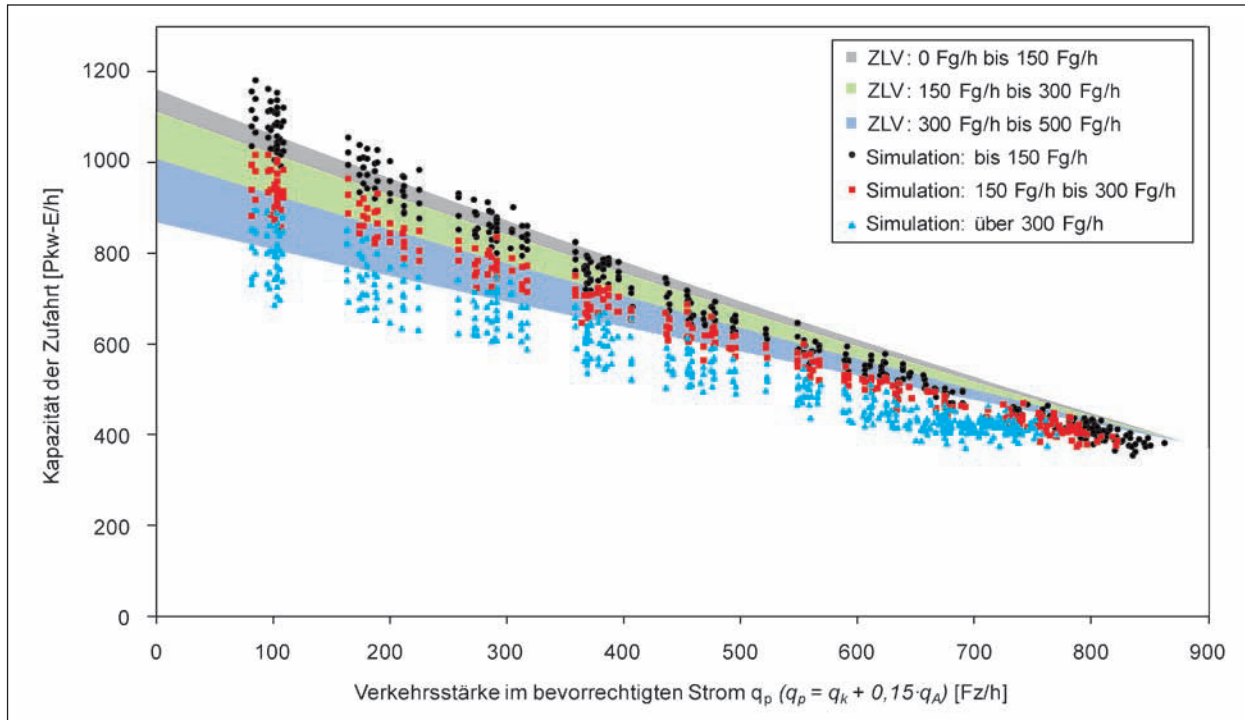
Die Verkehrsstärke der bevorrechtigten Ströme wurde schrittweise von 0 Fz/h bis 900 Fz/h erhöht. Die Simulationsergebnisse sind als Einzelwerte in Abhängigkeit der Fußgängerverkehrsstärke und der Verkehrsstärke in den bevorrechtigten Strömen in Bild 115 bzw. Bild 116 eingetragen.

Bei der Interpretation der Simulationsergebnisse in Bild 115 und Bild 116 muss der in Kapitel 5.6.3 erläuterte simulationsmodellbedingte Effekt der systematischen Überschätzung der realen Verhältnisse für Kapazitäten über 900 Pkw-E/h berücksichtigt werden. Dies belegen die deutlich über den Kapazitätsfunktionen liegenden Simulationsergebnisse für Verkehrsstärken im bevorrechtigten Strom bis 250 Fz/h und Fußgängerverkehrsstärken unter 150 Fg/h (Bild 115 und Bild 116). Unter Berücksichtigung dieser Tatsache kann sowohl für das Regressionsverfahren (Bild 115) als auch für das Zeitlückenverfahren (Bild 116) eine systematische Überschätzung der simulierten Verhältnisse durch die Berechnungsverfahren festgestellt werden. Diese im Vergleich zum Simulationsmodell ohne



**Bild 115:** Simulierte und nach Regressionsverfahren berechnete Kapazitäten für Fußgängerverkehrsstärken von 150 bis 500 Fg/h





**Bild 116:** Simulierte und nach Zeitlückenverfahren berechnete Kapazitäten für Fußgängerkehrsstärken von 150 bis 500 Fg/h

Fußgängerströme (Kapitel 5.6.3) wesentlich deutlicher ausgeprägte Kapazitätsüberschätzung durch die Berechnungsverfahren lässt eine unzureichende Berücksichtigung des kapazitätsmindernden Effekts bevorrechtigter Fußgängerströme durch die Abminderungsfaktoren  $f_f$  nach HBS vermuten.

Um dies zu überprüfen, erfolgte eine Gegenüberstellung der Abminderungsfaktoren  $f_f$  nach HBS und der sich aus der Simulation infolge bevorrechtigter Fußgängerströme ergebenden Kapazitätsverringerung. Dazu wurden weitere Simulationsläufe durchgeführt, bei denen für ausgewählte Verkehrsstärken im bevorrechtigten Strom die Auswirkungen unterschiedlicher Fußgängeraufkommen auf die Kapazitäten ermittelt wurden. Zum Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Abminderungsfaktoren nach HBS wurden auf Basis der simulierten Kapazitäten mit und ohne Fußgänger Abminderungsfaktoren nach Gleichung 51 bestimmt.

$$f_{f,SIM} = \frac{C_{SIM}(q_{p,i};q_{Fg,j})}{C_{SIM}(q_{p,i};q_{Fg,0})} \quad \text{Gl. 51}$$

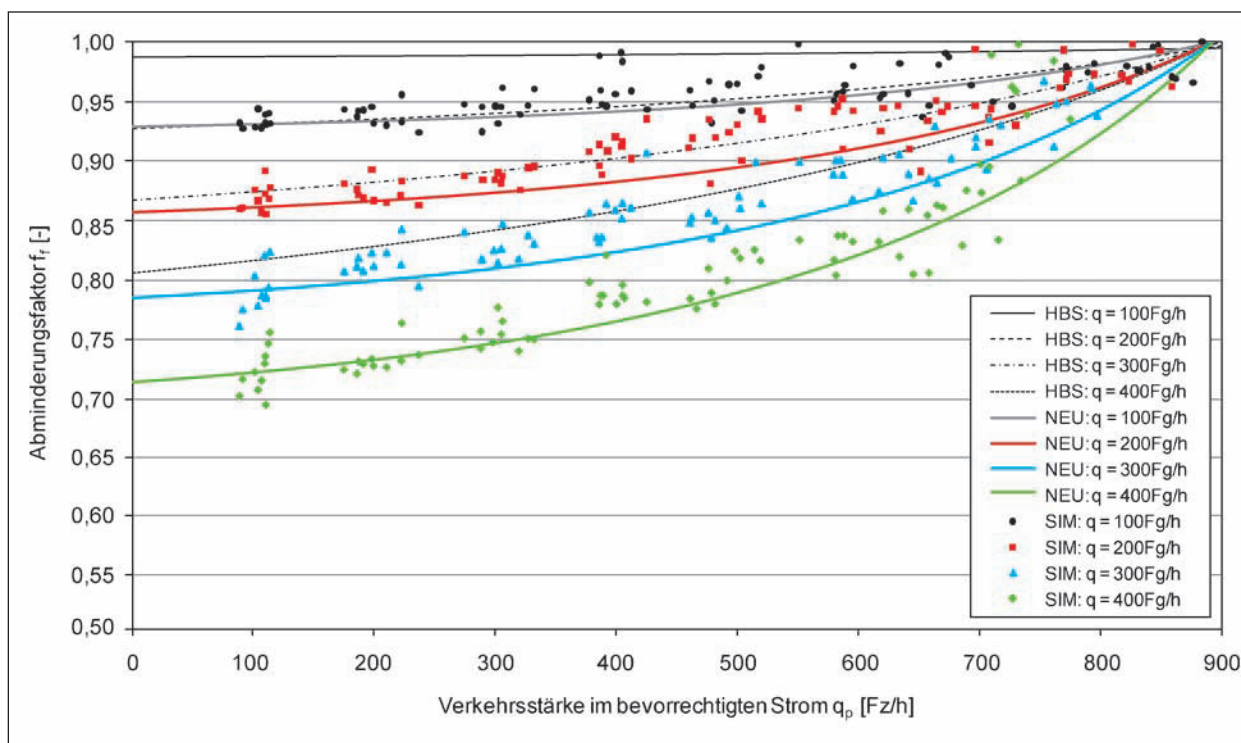
mit

$f_{f,SIM}$  Abminderungsfaktor aus Simulation zur Berücksichtigung des Fußgängereinflusses bei der Verkehrsstärke im bevorrechtigten Strom  $q_{p,i}$  und der Fußgängerkehrsstärke  $q_{Fg,j}$  [-]

$C_{SIM}(q_{p,i};q_{Fg,j})$  bzw.  $C_{SIM}(q_{p,i};q_{Fg,0})$   
 simulierte Kapazität bei der Verkehrsstärke im bevorrechtigten Strom  $q_{p,i}$  und der Fußgängerkehrsstärke  $q_{Fg,j}$  bzw. der Fußgängerkehrsstärke  $q_{Fg,0} = 0 \text{ Fg/h}$  [Pkw-E/h]

In Bild 117 sind die simulierten Abminderungsfaktoren dargestellt. Im Vergleich zu den im HBS angegebenen Abminderungsfaktoren zeigte die Simulation einen stärkeren kapazitätsmindernden Einfluss bevorrechtigter Fußgänger. Dies gilt für den gesamten untersuchten Verkehrsstärkebereich. Für Verkehrsstärken über 600 Fz/h im bevorrechtigten Strom nimmt der Einfluss der Fußgänger deutlich ab. Erreicht die Verkehrsstärke im bevorrechtigten Strom etwa 900 Fz/h, ist nahezu kein kapazitätsmindernder Einfluss durch bevorrechtigte Fußgänger zu beobachten. Dies bestätigt die Angaben des HBS, wonach ab 900 Fz/h im bevorrechtigten Strom deren Einfluss auf die Fahrmöglichkeiten der untergeordneten Verkehrsteilnehmer so stark wird, dass eine zusätzlich kapazitätsmindernde Wirkung durch querende Fußgänger nicht mehr auftritt.

Mittels Regressionsrechnung wurde die im HBS für den Abminderungsfaktor  $f_f$  angegebene Gleichung an die simulierten Abminderungsfaktoren angepasst. Der Regression wurde der in Gleichung 52 angegebene Zusammenhang zugrunde gelegt.



**Bild 117:** Abminderungsfaktoren  $f_f$  nach HBS (2001), als Einzelwerte der Simulation nach Gleichung 51 und als angepasste Regression nach Gleichung 52

$$f_{f,ANG} = \frac{G_{ZLV}(q_{p,i}) - (a \cdot q_{Fg,j} + b \cdot q_{Fg,j} \cdot q_{p,i})}{G_{ZLV}(q_{p,i})} \quad \text{Gl. 52}$$

mit

$f_{f,ANG}$  angepasster Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des Fußgängereinflusses bei der Verkehrsstärke im bevorrechtigten Strom  $q_{p,i}$  und der Fußgängerverkehrsstärke  $q_{Fg,j}$  [-]

$G_{ZLV}(q_{p,i})$  Grundkapazität nach Gleichung 22 (WU, 1997) mit  $t_g = 4,7$  s,  $t_f = 3,1$  s und  $t_{min} = 3,1$  s [Pkw-E/h]

a, b Regressionsparameter (a = 0,83 und b = 0,00093) [-]

Durch Minimierung der Abweichung zwischen den nach Gleichung 52 berechneten und den simulierten Abminderungsfaktoren (Gleichung 51) nach der Methode der kleinsten Quadrate wurden die Regressionsparameter a und b bestimmt. Die geringsten Abweichungen ergaben sich für a = 0,83 und b = 0,00093. Die sich aus dieser Regression ergebenden Abminderungsfaktoren sind für Fußgängerverkehrsstärken von 100 Fg/h, 200 Fg/h, 300 Fg/h und 400 Fg/h in Bild 117 (Datenreihen „NEU“) dargestellt.

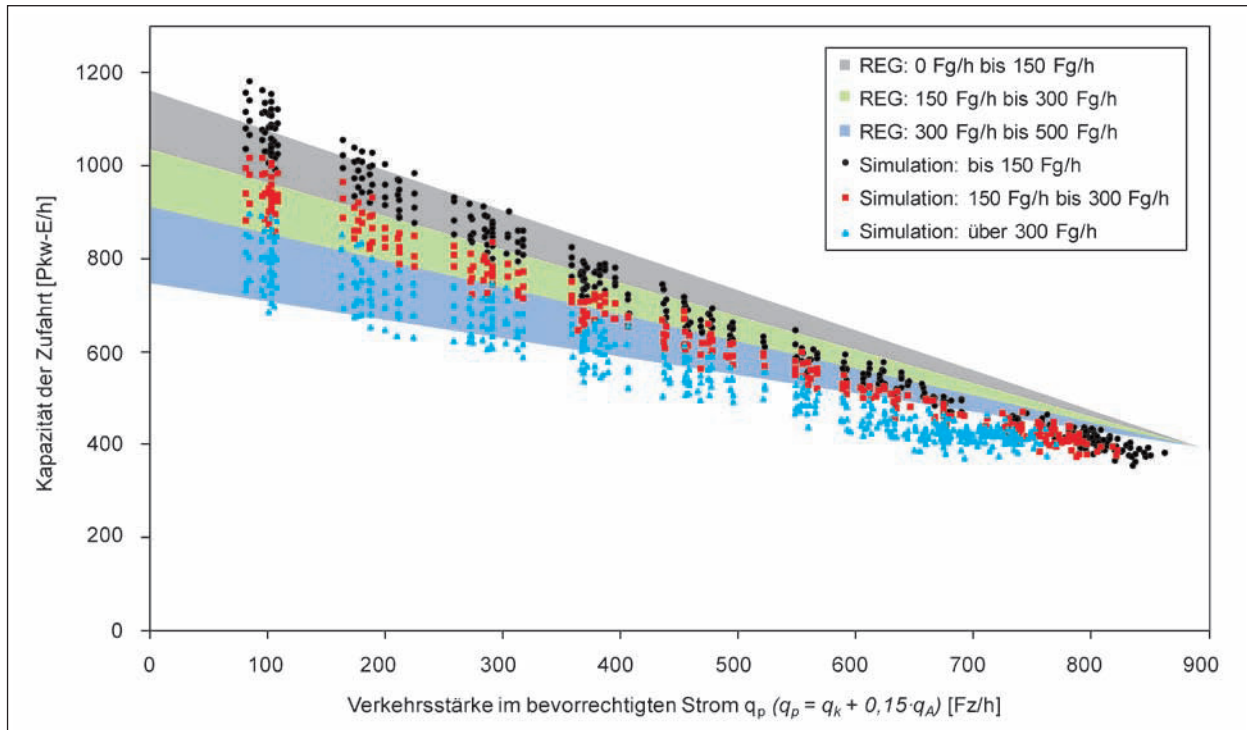
In Bild 118 bzw. Bild 119 sind die Simulationsergebnisse erneut den Berechnungsergebnissen nach dem Regressionsverfahren bzw. dem Zeitlückenverfahren unter Verwendung der angepassten Abminderungsfaktoren  $f_{f,ANG}$  gegenübergestellt. Durch die angepassten Abminderungsfaktoren ergeben sich bessere Übereinstimmungen zwischen den Berechnungsverfahren und den Simulationsergebnissen. Für Verkehrsstärken über 350 Fz/h sind für das Regressionsverfahren jedoch systematische Kapazitätsüberschätzungen für alle betrachteten Fußgängerverkehrsstärken zu beobachten (Bild 118). Bei dem Zeitlückenverfahren ist dieser Effekt lediglich im Verkehrsstärkebereich von 650 Fz/h bis 750 Fz/h bei hohen Fußgängerverkehrsstärken zu erkennen. Dieser Unterschied ist auf den linearen Verlauf der Regressionsfunktion zurückzuführen. Die Kapazitätsfunktion des Zeitlückenverfahrens beschreibt mit ihrem Kurvenverlauf den Verkehrsablauf in diesem Verkehrsstärkebereich besser.

Für die Kapazitätsermittlung an Minikreisverkehren sollte den Simulationsergebnissen folgend die Grundkapazität nach dem Zeitlückenverfahren berechnet und der Fußgängereinfluss durch die angepassten Abminderungsfaktoren  $f_{f,ANG}$  berücksichtigt werden. Steigt die Verkehrsstärke im bevorrechtigten Strom über 900 Fz/h, entfällt der Ab-

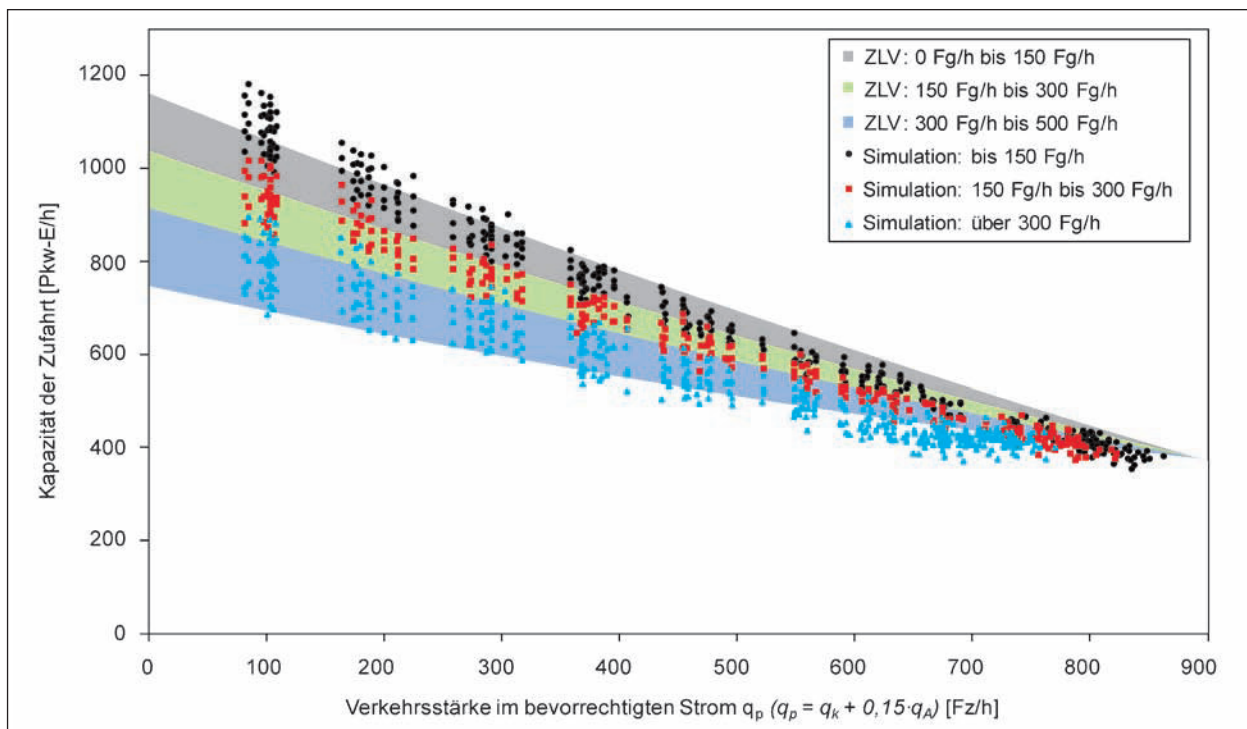
minderungsfaktor, da dann keine Beeinflussung der wartenden Fahrzeuge durch Fußgänger auftritt.

**Konfliktmatrixverfahren**

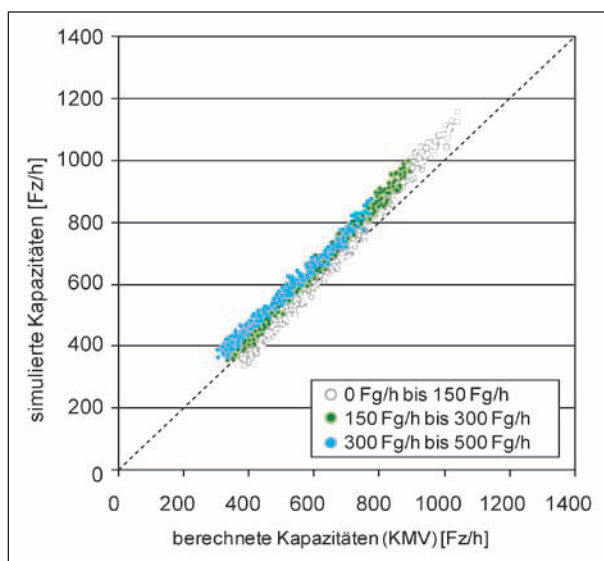
In Bild 120 sind die simulierten und berechneten Kapazitäten differenziert für unterschiedliche Fußgängerverkehrsstärken dargestellt. Für Fußgängerbe-



**Bild 118:** Simulierte und nach Regressionsverfahren berechnete Kapazitäten für Fußgängerverkehrsstärken von 150 bis 500 Fg/h mit angepassten Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung der bevorrechtigten Fußgänger



**Bild 119:** Simulierte und nach Zeitlückenverfahren berechnete Kapazitäten für Fußgängerverkehrsstärken von 150 bis 500 Fg/h mit angepassten Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung der bevorrechtigten Fußgänger



**Bild 120:** Simulierte und nach Konfliktmatrixverfahren berechnete Kapazitäten für Fußgängerverkehrsstärken von 0 bis 500 Fg/h

lastungen bis 300 Fg/h stimmen die simulierten und berechneten Kapazitäten gut überein. Die systematischen Abweichungen bei den Kapazitäten über 900 Fz/h sind auf die Eigenschaften des Simulationsmodells zurückzuführen (vgl. Kapitel 5.6.3).

Für Fußgängerbelastungen über 300 Fg/h zeigt sich eine systematische Unterschätzung der simulierten Kapazitäten durch das Berechnungsmodell. Die Abweichung beträgt im Mittel 75 Fz/h. Diese Kapazitätsunterschiede sind dadurch zu erklären, dass bei diesen hohen Fußgängerstärken verstärkt mehrere Fußgänger gleichzeitig die Furt belegen. Dieser Effekt wird bei dem auf Basis der Konflikttheorie entwickelten Berechnungsverfahren nicht berücksichtigt.

Weiterhin ist zu erkennen, dass die Abweichungen zwischen simulierten und berechneten Kapazitäten im Bereich niedrigerer Kapazitäten ( $C < 600$  Fz/h) zunehmen. Kapazitäten unter 600 Fz/h ergeben sich, wenn die Verkehrsstärke der bevorrechtigten Ströme über 500 Fz/h beträgt. Bei solch hohen Verkehrsstärken im Konfliktstrom auf der Kreisfahrbahn tritt häufig Rückstau in den Zufahrten auf. Dadurch können Fußgänger zwischen gestauten Fahrzeugen queren, wodurch der kapazitätsmindernde Einfluss der Fußgänger abnimmt. Dieser Effekt wird bei der Kapazitätsberechnung nach dem Konfliktmatrixverfahren nicht berücksichtigt. Eine entsprechende Anpassung des Berechnungsalgorithmus des Konfliktmatrixverfahrens würde zu einer Auflösung der Konfliktflächenbetrachtung und zu einer erhöhten Komplexität des Verfahrens füh-

ren und damit die Praxistauglichkeit des Verfahrens infrage stellen. Eine Anwendung des Konfliktmatrixverfahrens zur Kapazitätsermittlung an Minikreisverkehrszufahrten mit Fußgängerüberwegen kann folglich nur bei Verkehrsstärken der bevorrechtigten Fußgänger unter 300 Fg/h empfohlen werden.

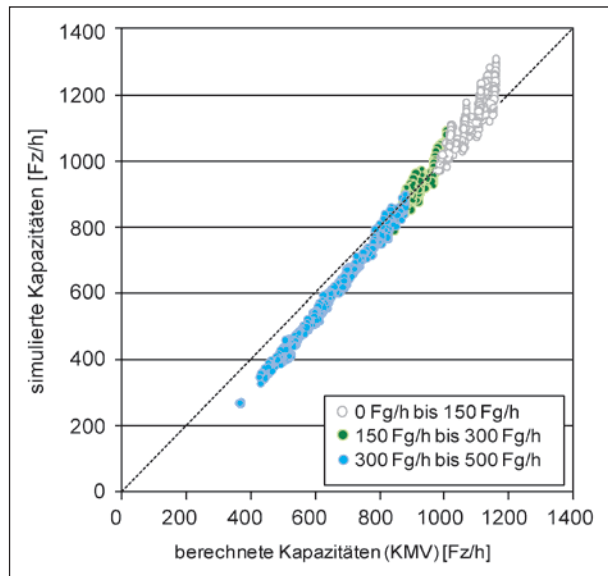
### 5.6.5 Kapazität der Ausfahrt

Der Berechnungsansatz des Konfliktmatrixverfahrens ermöglicht Kapazitätsberechnungen auch für Ausfahrten von Minikreisverkehren (vgl. Gleichung 42 bis Gleichung 45 in Kapitel 5.5.1). Da Fußgänger, welche die Ausfahrt eines Minikreisverkehrs überqueren, laut Straßenverkehrsordnung (StVO, 2010) unabhängig von der Anlage eines Fußgängerüberwegs den ausfahrenden Fahrzeugen gegenüber bevorrechtigt sind, hat die Verkehrsstärke der Fußgänger maßgeblichen Einfluss auf die Kapazität einer Ausfahrt. Weiterhin wird die Kapazität einer Ausfahrt durch die Verkehrszusammensetzung in den ausfahrenden Verkehrsströmen beeinflusst, da Schwerverkehrsfahrzeuge aufgrund der größeren Fahrzeuglänge und des geringeren Beschleunigungsvermögens mehr Zeit zum Ausfahren benötigen. Diese Effekte werden beim Konfliktmatrixverfahren berücksichtigt.

Zur Überprüfung der in Gleichung 42 bis Gleichung 45 beschriebenen Kapazitätsformeln erfolgten mikroskopische Verkehrsflusssimulationen. Durch Simulationsuntersuchungen wurde der maximale Abfluss an Fahrzeugen in einer Ausfahrt bei unterschiedlichen Fußgängerverkehrsstärken (bis 800 Fg/h) und Schwerverkehrsanteilen bis 5 % ermittelt. Die Ergebnisse der Simulationsuntersuchung sind in Bild 121 den nach Konfliktmatrixverfahren berechneten Kapazitäten gegenübergestellt. Dabei sind die simulierten und berechneten Kapazitäten differenziert für unterschiedliche Fußgängerbelastungen dargestellt.

Bild 121 zeigt, dass die in der Literatur häufig erwähnte maximale Kapazität einer Ausfahrt von etwa 1.200 Fz/h (vgl. HBS, 2001) grundsätzlich durch die Ergebnisse der Simulationsuntersuchung bestätigt werden kann. Auch nach dem kalibrierten Konfliktmatrixverfahren ergab sich für Ausfahrten, an denen keine Fußgänger und kein Schwerverkehr auftreten, eine maximale Kapazität von etwa 1.200 Fz/h.

Im Bereich geringer bis mittlerer Fußgängerverkehrsstärken (bis 300 Fg/h) werden die simulierten Kapazitäten gut durch das Berechnungsverfahren abgebildet (Bild 121). Ab Fußgängerverkehrsstär-



**Bild 121:** Simulierte und nach Konfliktmatrixverfahren berechnete Kapazitäten einer Ausfahrt in Abhängigkeit der Fußgängerverkehrsstärke

ken über 300 Fg/h ist zu erkennen, dass die simulierten Kapazitäten systematisch unter die berechneten Werte sinken. Dieser Effekt ist dadurch zu erklären, dass beim Konfliktmatrixverfahren von einem linearen Zusammenhang zwischen der Ausfahrtkapazität und dem bevorrechtigten Fußgängerstrom ausgegangen wird. So vermindert sich die Kapazität der Ausfahrt in Abhängigkeit der Fußgängerverkehrsstärke  $q_{Fg}$  um den Faktor  $0,08 \cdot q_{Fg}$ . Bei sehr hohen Fußgängerverkehrsstärken werden die für den ausfahrenden Fahrzeugstrom nutzbaren Zeitlücken zwischen aufeinanderfolgenden Fußgängern immer kürzer und damit ist ein Teil dieser Zeitlücken für ausfahrende Fahrzeuge nicht mehr nutzbar. Dieser zusätzliche Verlust an nutzbarer Ausfahrzeit wird in dem Berechnungsverfahren bisher nicht berücksichtigt. Allerdings muss andererseits davon ausgegangen werden, dass bei Fußgängerverkehrsstärken von deutlich über 300 Fg/h die Fußgänger auch zunehmend in Gruppen die Ausfahrt überqueren. Dies hat wiederum eine kapazitätserhöhende Wirkung für die Fahrzeugströme zur Folge. Das Auftreten von größeren Fußgängergruppen wird im Simulationsmodell nicht berücksichtigt, weswegen auch von einer Kapazitätsunterschätzung der realen Verhältnisse durch die Simulation im Bereich solcher hoher Fußgängerverkehrsstärken ausgegangen werden muss. Um diesen Effekt besser beurteilen zu können, wären weitere Verkehrserhebungen an Minikreisverkehren mit sehr hohen Fußgängerbelastungen notwendig gewesen. Allerdings sind in der Realität kaum Minikreisverkehre mit so hohen

Fußgängerverkehrsstärken (über 300 Fg/h) vorzufinden, da in solchen Fällen häufig Lichtsignalanlagen eingesetzt werden, um den Anforderungen der Fußgänger zu entsprechen.

Im praxisrelevanten Einsatzbereich (bis 300 Fg/h) bildet das Konfliktmatrixverfahren die Kapazitäten von Ausfahrten an Minikreisverkehren gut ab. Bei sehr hohen Fußgängerverkehrsstärken kann es zur Kapazitätsüberschätzung durch das Berechnungsverfahren kommen. Allerdings führen aus hohen Fußgängerverkehrsstärken resultierende geringe Kapazitäten der Ausfahrt dazu, dass schon bei mittlerer Auslastung der Ausfahrt zunehmend Rückstau in die Kreisfahrbahn hinein auftritt. Dies führt zu Wechselwirkungen mit der benachbarten Zufahrt und somit zu Verkehrsverhältnissen, welche mit dem hier entwickelten Berechnungsansatz nicht beschrieben werden können. Eine Anwendung des Berechnungsverfahrens bei Fußgängerverkehrsstärken von über 300 Fg/h in der Ausfahrt wird daher nicht empfohlen. Die sich bei solchen Belastungen einstellenden Wechselwirkungen lassen sich nur durch sehr komplexe Berechnungsmodelle abbilden, weshalb in diesen Fällen die Beurteilung der Leistungsfähigkeit mit mikroskopischen Verkehrsflusssimulationen erfolgen sollte.

### 5.6.6 Fazit

Die Simulationsuntersuchung hat gezeigt, dass eine modelltheoretische Abbildung der Verkehrsverhältnisse an Minikreisverkehren mit VISSIM möglich ist. Die Erstellung des Netzmodells ist aufgrund der besonderen Bewegungsvorgänge des Schwerverkehrs aufwändiger als an kleinen Kreisverkehren und erfordert eine Vielzahl an Querverkehrsstörungen, um Konflikte zwischen Leicht- und Schwerverkehr auszuschließen. Die auf Basis der empirisch erhobenen Reisezeiten durchgeführte Kalibrierung des Simulationsmodells führte zu Kapazitäten, die weitestgehend mit den Ergebnissen der am Untersuchungskollektiv kalibrierten Berechnungsverfahren übereinstimmen. Lediglich im Bereich hoher Kapazitäten zeigte das Simulationsmodell eine Überschätzung der realen Verhältnisse.

Die in einer ersten Untersuchungsstufe durchgeführte Validierung der Berechnungsmodelle ohne Berücksichtigung bevorrechtigter Fußgänger zeigte für das Zeitlückenverfahren die beste Übereinstimmung mit den Simulationsergebnissen. Für das Regressionsverfahren waren die größten Abweichungen zu den simulierten Kapazitäten zu beobachten.

In der zweiten Untersuchungsstufe wurden Fußgängerströme in das Simulationsmodell integriert. Dabei wurde von Fußgängerüberwegen in den Zufahrten ausgegangen und somit von einer Bevorrechtigung der Fußgänger. Für das Regressions- und Zeitlückenverfahren wurde der Fußgängereinfluss durch die im HBS (2001) angegebenen Abminderungsfaktoren berücksichtigt. Die Simulationsergebnisse zeigten, dass die Abminderungsfaktoren nach HBS den kapazitätsmindernden Einfluss bevorrechtigter Fußgängerströme unterschätzen. Daher wurde eine Anpassung der Abminderungsfaktoren durch Regressionsrechnungen vorgenommen. Der Vergleich der simulierten Daten mit den mit Hilfe der angepassten Abminderungsfaktoren für das Regressions- und Zeitlückenverfahren bestimmten Kapazitäten zeigte für das Zeitlückenverfahren zutreffende Berechnungsergebnisse. Für das Regressionsverfahren ergaben sich im Bereich über 350 Fz/h im bevorrechtigten Verkehrsstrom systematische Kapazitätsüberschätzungen, deren Ursache jedoch nicht in den angepassten Abminderungsfaktoren, sondern im linearen Verlauf der Kapazitätsfunktion zu sehen war.

Der Vergleich der in der zweiten Untersuchungsstufe simulierten Kapazitäten mit den Berechnungsergebnissen des Konfliktmatrixverfahrens, welches den Einfluss bevorrechtigter Fußgänger unmittelbar im Berechnungsalgorithmus berücksichtigt, offenbarte eine Schwäche dieses Verfahrens. So wird beim Konfliktmatrixverfahren die Kapazität ausschließlich in Abhängigkeit der Fußgängerverkehrsstärke abgemindert. Effekte, die durch Rückstau in den Zufahrten aufgrund hoher Verkehrsstärken im bevorrechtigten Strom im Kreis entstehen, werden nicht berücksichtigt. Dadurch ergaben sich bei hohen Fußgängerverkehrsstärken und Verkehrsstärken über 600 Fz/h auf der Kreisfahrbahn systematische Kapazitätsunterschätzungen durch das Konfliktmatrixverfahren. Vor diesem Hintergrund sollte von einer Kapazitätsermittlung von Minikreisverkehrszufahrten mit dem Konfliktmatrixverfahren abgesehen werden.

Die durch das Konfliktmatrixverfahren mögliche Kapazitätsberechnung von Minikreisverkehrsausfahrten wurde ebenfalls durch Simulationen validiert. Dabei zeigte sich, dass im praxisrelevanten Einsatzbereich (bis zu 300 Fg/h in der Ausfahrt) das Konfliktmatrixverfahren zuverlässige Ergebnisse liefert. Bei sehr hohen Fußgängerverkehrsstärken lagen die berechneten Kapazitäten über den simulierten Werten. Allerdings stellen sich bei so hohen

Fußgängerverkehrsstärken häufig Verkehrsverhältnissen ein, welche mit deterministischen Berechnungsansätzen kaum abgebildet werden können, weshalb Simulationsuntersuchungen in diesen Belastungsbereichen das geeignetere Werkzeug zur Beurteilung der Verkehrsqualität bilden.

## 5.7 Vorschlag für ein Berechnungsverfahren

### 5.7.1 Gegenüberstellung der untersuchten Berechnungsverfahren

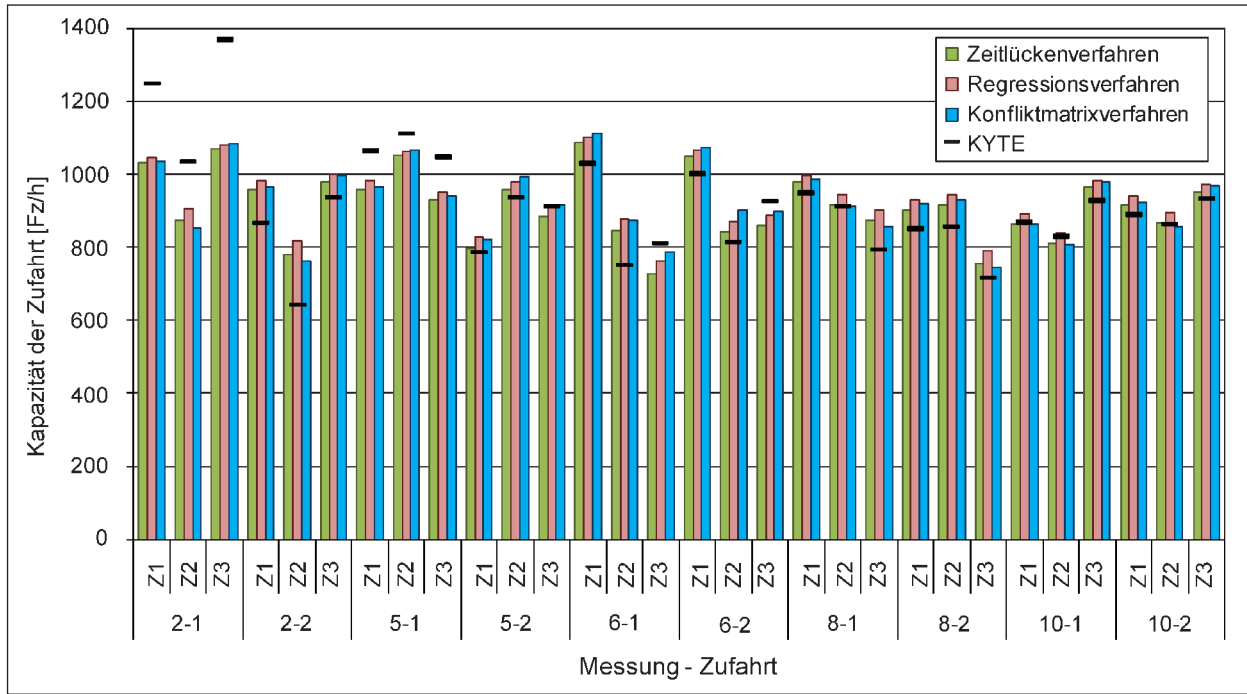
In der vorliegenden Untersuchung wurde auf Basis empirisch bestimmter Kapazitäten ein Regressionsverfahren zur Kapazitätsermittlung an Minikreisverkehren hergeleitet. Des Weiteren wurde das im HBS (2001) für Kreisverkehre beschriebene Zeitlückenverfahren an die Verkehrsverhältnisse an Minikreisverkehren angepasst. Mit dem Konfliktmatrixverfahren wurde eine neue Möglichkeit zur Kapazitätsermittlung an (Mini-)Kreisverkehren vorgestellt, welche auch die Kapazitätsermittlung für Minikreisverkehrsausfahrten ermöglicht.

In Bild 122 und Bild 123 sind die durch drei Berechnungsverfahren ermittelten Kapazitäten für die 20 Messungen an den 10 untersuchten Minikreisverkehren dargestellt. Zum Vergleich sind auch die nach dem Verfahren von KYTE abgeschätzten Kapazitäten abgebildet. Bei allen drei Berechnungsverfahren wurde der Einfluss querender Fußgänger nur berücksichtigt, wenn ein Fußgängerüberweg vorhanden war und die Fußgänger somit gegenüber dem Fahrzeugverkehr bevorrechtigt waren. Für das Zeitlücken- und Regressionsverfahren wurde der Fußgängereinfluss durch die im Rahmen der Mikrosimulationen ermittelten Abminderungsfaktoren berücksichtigt (vgl. Kapitel 5.6.4).

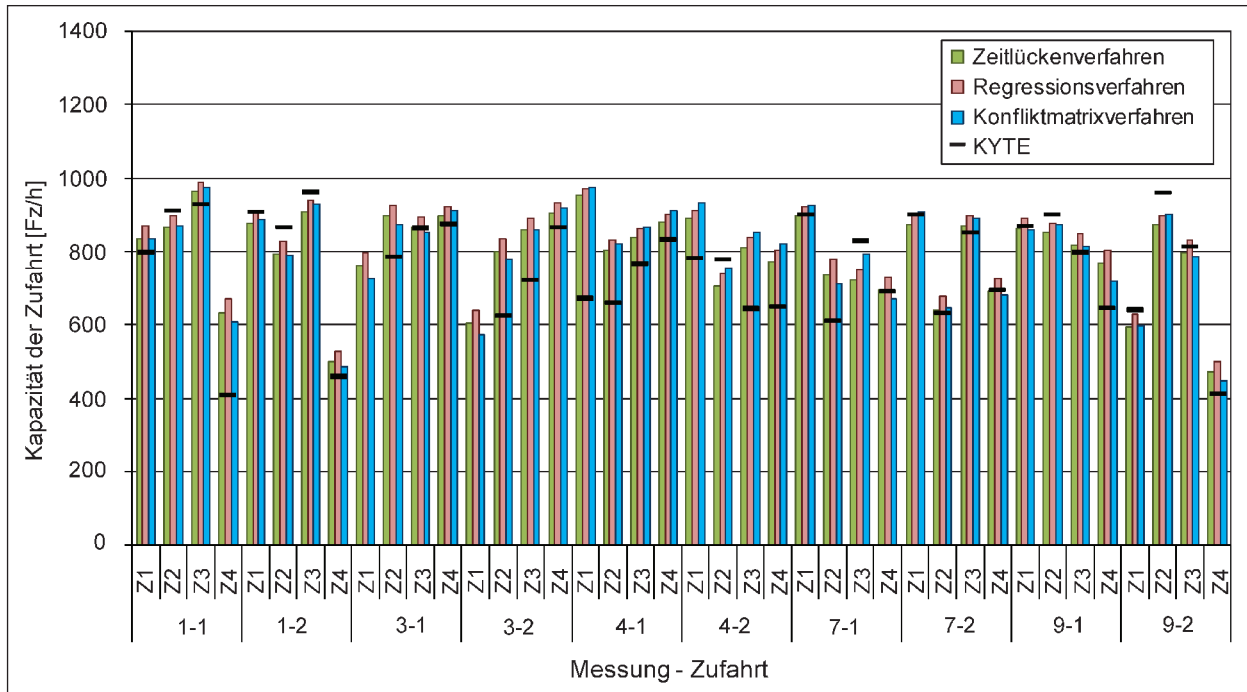
In dem vorliegenden Forschungsbericht wurde erläutert, dass die nach dem Verfahren von KYTE abgeschätzten Kapazitäten nur als bedingt zuverlässig angesehen werden können. Da mit der Methode „Zeitintervalle mit ständigem Rückstau“ keine zufahrtsbezogenen Kapazitäten über den gesamten Beobachtungszeitraum von einer Stunde ermittelt werden konnten, bilden die Kapazitäten nach KYTE die einzige Vergleichsbasis für die zufahrtsweise berechneten Kapazitäten der Erhebungszeiträume. Die Gegenüberstellung der Kyte-Werte mit den Berechnungsverfahren ergab

- für das Zeitlückenverfahren eine mittlere Abweichung von 18 Fz/h,
- für das Regressionsverfahren eine mittlere Abweichung von 45 Fz/h,
- für das Konfliktmatrixverfahren eine mittlere Abweichung von 28 Fz/h.

Diese Abweichungen bestätigen die Ergebnisse der Simulationsuntersuchungen, nach denen das Regressions- und das Konfliktmatrixverfahren die Verkehrsverhältnisse an Minikreisverkehrszufahrten nicht so gut abbilden wie das Zeitlückenverfahren. Ursachen dafür sind beim Regressionsverfahren im linearen Verlauf der Grundkapazitätsfunktion und



**Bild 122:** Kapazitäten der untersuchten Minikreisverkehre nach dem Zeitlücken-, Regressions- und Konfliktmatrixverfahren sowie die nach dem Verfahren von KYTE abgeschätzten Kapazitäten – Minikreisverkehre mit drei Zufahrten



**Bild 123:** Kapazitäten der untersuchten Minikreisverkehre nach dem Zeitlücken-, Regressions- und Konfliktmatrixverfahren sowie die nach dem Verfahren von KYTE abgeschätzten Kapazitäten – Minikreisverkehre mit vier Zufahrten

beim Konfliktmatrixverfahren in der vereinfachten Berücksichtigung des Fußgängereinflusses zu sehen. Die Gegenüberstellung der Berechnungsverfahren zeigt aber auch vergleichsweise geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Verfahrensansätzen (mittlere Abweichungen zwischen 9 und 28 Fz/h). Somit liegen die vereinfachten Annahmen des Regressions- und Konfliktmatrixverfahrens für das Untersuchungskollektiv im tolerierbaren Bereich (Bild 122 und Bild 123).

Aufgrund der besten Übereinstimmung mit den empirisch bestimmten Kapazitäten und den Simulationsergebnissen wird das Zeitlückenverfahren zur Kapazitätsbestimmung an Minikreisverkehren empfohlen. Dabei sollten die ermittelten Zeitlücken sowie die angepassten Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung der bevorrechtigten Fußgängerströme verwendet werden. Außerdem sollten bei der Ermittlung der Verkehrsstärke der bevorrechtigten Verkehrsströme 15 % des am betrachteten Knotenarm ausfahrenden Verkehrs berücksichtigt werden.

Zur Kapazitätsermittlung von Minikreisverkehrsausfahrten bietet das Konfliktmatrixverfahren eine Berechnungsmöglichkeit. Die Simulationsuntersuchung hat gezeigt, dass der Berechnungsansatz bis zu Fußgängerverkehrsstärken von 300 Fg/h in der Ausfahrt zuverlässige Ergebnisse liefert. Bei höherem Fußgängeraufkommen unterschätzt das Berechnungsverfahren den kapazitätsmindernden Einfluss der Fußgänger. Bei solch hohen Fußgängerverkehrsstärken und mittlerer bis hoher Auslastung der Ausfahrt stellen sich jedoch Verkehrsverhältnissen ein, die mit deterministischen Berechnungsansätzen kaum abgebildet werden können (Rückstau in die Kreisfahrbahn und Überstauung der links liegenden Zufahrt). Zur Abbildung dieser Verkehrssituationen bilden Simulationsverfahren das geeignetere Mittel. Von einer allgemeinen Kapazitätsüberprüfung von Minikreisverkehrsausfahrten mit dem Konfliktmatrixverfahren wird daher abgeraten, da in den Fällen, in denen die Kapazität der Ausfahrt maßgebend wird (Anlagen mit sehr hoher Fußgängerbelastung), das Berechnungsverfahren mit hoher Wahrscheinlichkeit zu unzutreffenden Ergebnissen führt.

### 5.7.2 Verfahrensvorschlag

Der folgende Verfahrensvorschlag für das HBS zur Beurteilung der Verkehrsqualität an Minikreisverkehren beruht auf dem Zeitlückenverfahren. Dabei wird zum Teil auf im Kapitel S5 des HBS-Entwurfs angegebene Grundlagen zurückgegriffen, da an dieser

Stelle ausschließlich die spezifischen Verkehrsabläufe an Minikreisverkehren behandelt werden sollen. Der Verfahrensentwurf erfolgt am Beispiel eines vierarmigen Minikreis, kann aber sinngemäß auch für drei- bzw. fünfarmige Anlagen verwendet werden.

### 1. Verkehrsstärke in den Zufahrten

Unter Verwendung der in Bild 124 beschriebenen Verkehrsstromdefinition werden die Verkehrsstärken in den Zufahrten nach Gleichung 53 bestimmt. Treten ausnahmsweise regelmäßig Wendefahrten aus einzelnen Zufahrten auf, so sind deren Verkehrsstärken zusätzlich zu berücksichtigen.

$$\begin{aligned} q_{Z1} &= q_1 + q_2 + q_3 \\ q_{Z2} &= q_4 + q_5 + q_6 \\ q_{Z3} &= q_7 + q_8 + q_9 \\ q_{Z4} &= q_{10} + q_{11} + q_{12} \end{aligned} \quad \text{Gl. 53}$$

mit

$q_{Zj}$  Verkehrsstärke in der Zufahrt  $j$  [Fz/h]

$q_i$  Verkehrsstärke des Verkehrsstroms  $i$  [Fz/h]

Zur späteren Bestimmung der Wartezeit sollten auch die Umrechnungsfaktoren für die Verkehrszusammensetzung  $f_{PE}$  für die einzelnen Zufahrten nach Kapitel S5.3.3 des HBS-Entwurfs berechnet werden.

### 2. Verkehrsstärke der bevorrechtigten Verkehrsströme

Die Verkehrsstärken der bevorrechtigten Verkehrsströme ergeben sich nach Gleichung 54. Treten regelmäßig Wendefahrten auf, so sind diese sinngemäß bei Berechnung der maßgebenden Hauptstromverkehrsstärke zu berücksichtigen.

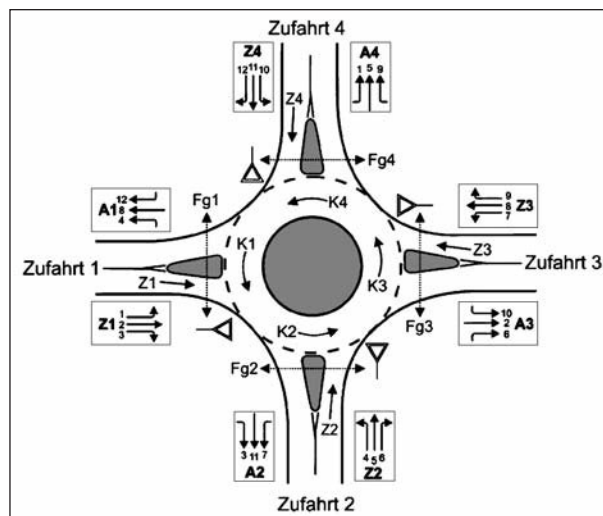


Bild 124: Verkehrsströme an Minikreisverkehren



$$\begin{aligned}
 q_{p,Z1} &= q_{K1} = q_7 + q_{10} + q_{11} + 0,15 \cdot (q_4 + q_8 + q_{12}) \\
 q_{p,Z2} &= q_{K2} = q_1 + q_2 + q_{10} + 0,15 \cdot (q_3 + q_7 + q_{11}) \\
 q_{p,Z3} &= q_{K3} = q_1 + q_4 + q_5 + 0,15 \cdot (q_2 + q_6 + q_{10}) \\
 q_{p,Z4} &= q_{K4} = q_4 + q_7 + q_8 + 0,15 \cdot (q_1 + q_5 + q_9)
 \end{aligned}$$

Gl. 54

mit

$q_{p,Zj}$  Verkehrsstärke der der Zufahrt j bevorrechtigten Verkehrsströme (Kj) [Fz/h]

$q_i$  Verkehrsstärke des Verkehrsstroms i [Fz/h]

### 3. Ermittlung der Grundkapazität

Die Grundkapazität der einzelnen Zufahrten ergibt sich nach Gleichung 55. Alternativ kann die Grundkapazität auch aus Bild 125 abgelesen werden.

$$G_{Zj} = \left( 1 - \frac{t_{\min} \cdot q_{p,Zj}}{3600} \right) \cdot \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{q_{p,Zj}}{3600}} \cdot \left( t_g - \frac{t_f}{2} \cdot t_{\min} \right)$$

Gl. 55

mit

$G_{Zj}$  Grundkapazität der Zufahrt j [Pkw-E/h]

$q_{p,Zj}$  Verkehrsstärke der der Zufahrt j bevorrechtigten Verkehrsströme nach Gleichung 54 [Fz/h]

$t_{\min}$  Mindestzeitlücke  $t_{\min} = 2,5$  s [s]

$t_g$  Grenzzeitlücke  $t_g = 4,7$  s [s]

$t_f$  Folgezeitlücke  $t_f = 3,1$  s [s]

### 4. Ermittlung der Kapazität

Fußgänger beeinträchtigen die Kapazität einer Zufahrt, wenn Fußgängerüberwege in den Zufahrten existieren und die Fußgänger dadurch gegenüber dem Fahrzeugverkehr bevorrechtigt sind. In diesem Fall wird der Einfluss querender Fußgänger auf die Kapazität des einfahrenden Kraftfahrzeugverkehrs mit Hilfe des Abminderungsfaktors  $f_f$  berücksichtigt. Dieser wird nach Bild 126 bestimmt. Die Kapazität einer Zufahrt ergibt sich in Abhängigkeit der Fußgängerführung nach Gleichung 56.

$$C_{Zj} = f_{f,Zj} \cdot G_{Zj}$$

Gl. 56

mit

$C_{Zj}$  Kapazität der Zufahrt j [Pkw-E/h]

$f_{f,Zj}$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von bevorrechtigten Fußgängerströmen nach Bild 126 (sofern keine Fußgänger die Zufahrt queren, ist  $f_{f,Zj} = 1$ ) [-]

$G_{Zj}$  Grundkapazität der Zufahrt j [Pkw-E/h]

Der Abminderungsfaktor  $f_{f,Zj}$  wird in Abhängigkeit der Fußgängerverkehrsstärke  $q_{Fg,Zj}$  in der betrachteten Zufahrt j und der bevorrechtigten Verkehrsstärke  $q_{p,Zj}$  bestimmt (Bild 126). Ist in der betrachteten Zufahrt kein Fußgängerüberweg vorhanden, so kann der Abminderungsfaktor entfallen.

Die in Bild 126 beschriebenen Zusammenhänge ergeben sich nach Gleichung 57.

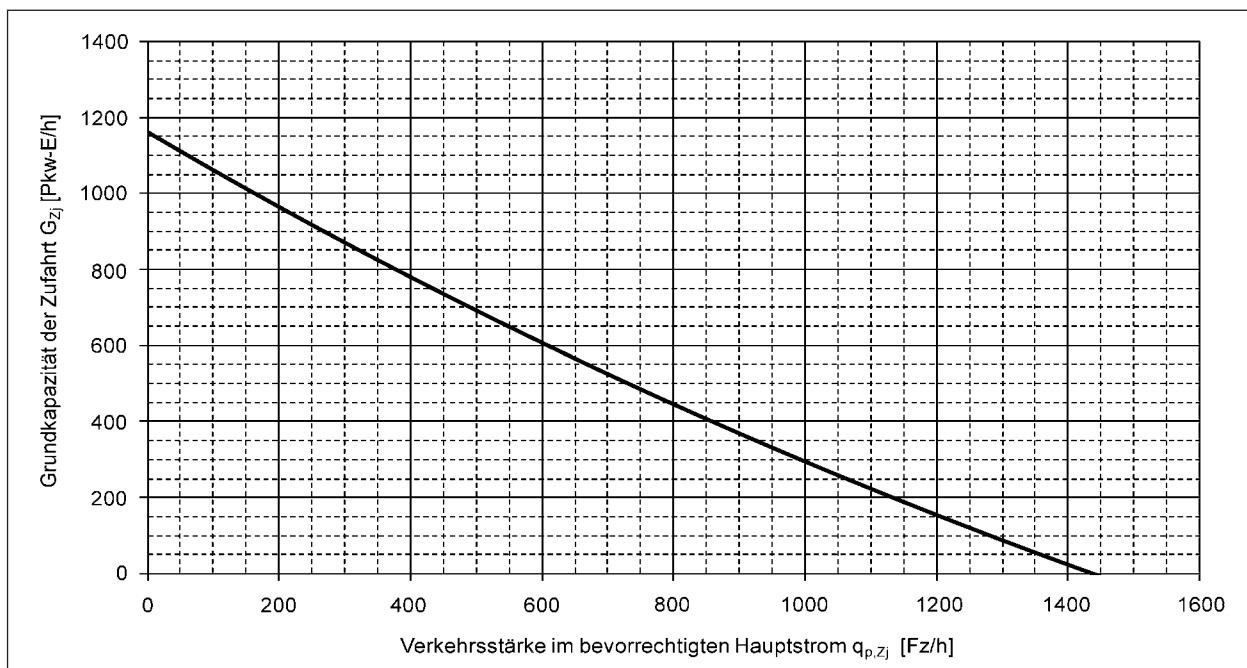
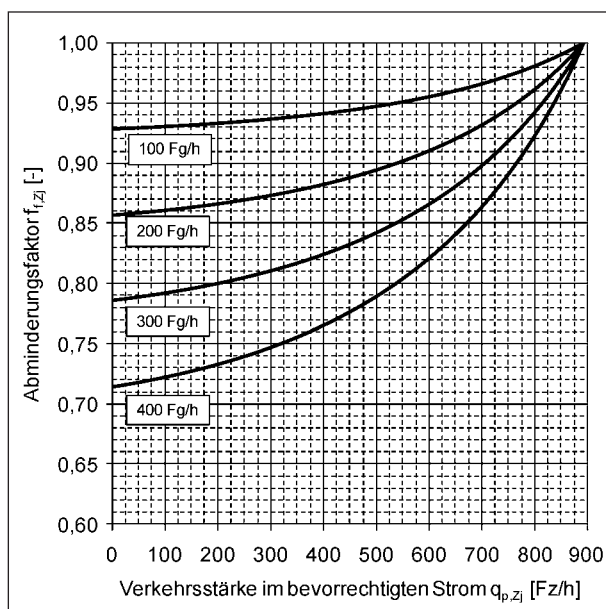


Bild 125: Grundkapazität  $G_{Zj}$  von Minikreisverkehrszufahrten



**Bild 126:** Abminderungsfaktor  $f_{r,Fj}$  zur Berücksichtigung von bevorrechtigten Fußgängerströmen in Zufahrt j

$$f_{r,Zj} = \frac{G_{Zj} - (0,83 \cdot q_{Fg,j} - 0,00093 \cdot q_{Fg,j} \cdot q_{p,Zj})}{G_{Zj}} \quad \text{Gl. 57}$$

mit

$f_{r,Zj}$  Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des Einflusses querender Fußgänger in der Zufahrt j [-]

$G_{Zj}$  Grundkapazität der Zufahrt j nach Gleichung 55 [Pkw-E/h]

$q_{Fg,j}$  Verkehrsstärke des querenden Fußgängerstroms in der Zufahrt j [Fg/h]

$q_{p,Zj}$  Verkehrsstärke der der Zufahrt j bevorrechtigten Verkehrsströme nach Gleichung 54 [Fz/h]

## 5. Mittlere Wartezeit und Verkehrsqualität

Gemäß den Vorgaben im Kapitel S5.4.6 des HBS-Entwurfs sind die nach Gleichung 56 ermittelten Kapazitäten von Pkw-E/h in Fz/h umzurechnen. Dies erfolgt mit Hilfe der Umrechnungsfaktoren für die Verkehrszusammensetzung  $f_{PE}$  für die einzelnen Zufahrten. Anschließend werden die Kapazitätsreserve und die mittlere Wartezeit für die einzelnen Zufahrten nach Kapitel S5.4.6 des HBS-Entwurfs bestimmt. Die mittlere Wartezeit kann für jede Zufahrt j auch auf Basis der in Fz/h umgerechneten Kapazitäten  $C_{Zj}$  und der Verkehrsstärken  $q_{Zj}$  direkt mit der Formel von AKÇELIK/TROUTBECK (1991) berechnet werden:

QSV	mittlere Wartezeit $t_w$ [s]
A	$\leq 10$
B	$\leq 20$
C	$\leq 30$
D	$\leq 45$
E	$> 45$
F	wenn $q_{Zj} > C_{Zj}$

**Tab. 39:** Grenzwerte der mittleren Wartezeit für die Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV) nach HBS (2001)

$$t_{w,Zj} = \frac{3600}{C_{Zj}} + 900 \cdot \left[ \frac{q_{Zj}}{C_{Zj}} - 1 + \sqrt{\left( \frac{q_{Zj}}{C_{Zj}} - 1 \right)^2 + \frac{8 \cdot q_{Zj}}{(C_{Zj})^2}} \right] \quad \text{Gl. 58}$$

mit

$t_{w,Zj}$  mittlere Wartezeit der Fahrzeuge in der Zufahrt j [s]

$C_{Zj}$  Kapazität der Zufahrt j [Fz/h]

$q_{Zj}$  Verkehrsstärke der Zufahrt j [Fz/h]

Anhand der mittleren Wartezeit kann die Verkehrsqualität der einzelnen Zufahrten nach Tabelle 39 bestimmt werden. Maßgebend für die Beurteilung der Verkehrsqualität des gesamten Minikreisverkehrs ist die schlechteste Verkehrsqualität einer Zufahrt.

## 6 Erhebung der Lärmbelastung

### 6.1 Allgemeines

Untersuchungen zur Lärmbelastung in Dresden (ACHTENHAGEN, 2008) haben ergeben, dass auf Pflasterstraßen der mittlere Vorbeifahrtpegel eines Pkw im Vergleich zu Straßen mit einer Asphaltbefestigung unabhängig von der Geschwindigkeit auf einem um etwa 7,5 dB(A) höheren Niveau liegt. Dies belegen auch die Angaben in der Europäischen Richtlinie 2003/613/EC, welche bei Pflasteroberflächen und Geschwindigkeiten unter 60 km/h von einer Pegelerhöhung von bis zu 6 dB(A) gegenüber Asphaltbefestigungen ausgeht.

Häufig befinden sich Minikreisverkehre innerhalb von Wohngebieten (im Erschließungs- und Hauptverkehrsstraßennetz), wo durch beim Entwurf solcher Anlagen – insbesondere vor dem Hintergrund der aktuellen Lärminderungsanforderungen – eine für die Anwohner möglichst verträgliche

Lösung angestrebt werden soll. Da bisher keine Erkenntnisse zu den Auswirkungen unterschiedlicher Oberflächengestaltungen der befahrbaren Mittelinsel auf die Lärmemissionen an Minikreisverkehren bestehen, erfolgen Schallpegelmessungen an drei ausgewählten Minikreisverkehren mit unterschiedlicher baulicher Gestaltung.

## 6.2 Methodik

Das während der Vorbeifahrt eines Kraftfahrzeuges abgestrahlte Geräusch setzt sich überwiegend aus den beiden Anteilen „Antriebsgeräusch“ und „Rollgeräusch“ zusammen. Bei Fahrgeschwindigkeiten, wie sie typischerweise im Stadtverkehr auftreten, besitzen Geräusche, die durch den Luftwiderstand entstehen, keinen nennenswerten Anteil am Gesamtgeräusch und können vernachlässigt werden.

Das Antriebsgeräusch umfasst unter anderem die Geräuschanteile des Motors und seiner Nebenaggregate, des Ansaugtraktes und der Auspuffanlage. Die Antriebsgeräusche stehen ursächlich nicht mit der Fahrgeschwindigkeit, sondern mit der Motordrehzahl und Motorbelastung im Zusammenhang. Das Geräuschniveau wird von der jeweiligen Fahrzeugtechnik bestimmt. Dessen aktuelle Höhe im Verkehrsablauf hängt jedoch von der Fahrweise und der Verkehrssituation ab.

Das Rollgeräusch hat seinen Entstehungsmechanismus im Abrollvorgang eines Reifens auf der Fahrbahnoberfläche und wird daher auch als Reifen-Fahrbahn-Geräusch bezeichnet, welches mit der Fahrgeschwindigkeit anwächst. Dessen Niveau hängt sowohl vom Reifentyp als auch vom Fahrbahnbelag entscheidend ab.

Im allgemeinen Fall kann angenommen werden, dass bei Personenkraftwagen bis 40 km/h und insbesondere bei Anfahr- und Beschleunigungsvorgängen das Antriebsgeräusch einen dominierenden Anteil am Gesamtgeräusch besitzt. Bei Lastkraftwagen bleibt das Antriebsgeräusch sogar bis zu einer Geschwindigkeit von 60 km/h dominant. Ein möglicher Einfluss der Oberflächengestaltung der Kreisinsel an Minikreisverkehren auf den Schallpegel ist folglich nur feststellbar, wenn sich deutliche Veränderung der Rollgeräusche ergeben, welche die Antriebsgeräusche des betrachteten Fahrzeugs dominieren.

Zur Beurteilung dieses Zusammenhangs wurden Schallpegelmessungen durch Fahrversuche mit

einem Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 18 t (Mercedes-Benz AXOR 1829 – vgl. Bild 127) in Zeiten geringer Verkehrsbelastungen an drei Minikreisverkehren mit unterschiedlicher Kreisinselausführung durchgeführt. Die Messungen erfolgten in Zeiten geringer Verkehrsbelastungen, um Einflüsse durch Umgebungsgeräusche bzw. andere Verkehrsteilnehmer niedrig zu halten und so gezielt unterschiedliche Schallpegel für verschiedene Fahrmanöver und Kreisinseloberflächen (bzw. Kreisinselseinfassungen) erheben zu können.

Die untersuchten Minikreisverkehre wurden aus drei Zufahrten in allen Richtungen (außer Wendefahrt) mit gleicher Geschwindigkeit befahren (vgl. Bild 128). Dabei erfolgten Schallmessungen mit einem Schallpegelanalysator. Der Standort des Messgeräts befand sich dabei immer zwischen der rechts liegenden und der gegenüberliegenden Zufahrt – siehe Bild 128. Um die Messergebnisse abzusichern, wurde jedes Fahrmanöver dreimal wiederholt. Somit ergaben sich je Kreisverkehr insgesamt 27 Messun-



Bild 127: Messfahrzeug für Schallpegelmessungen

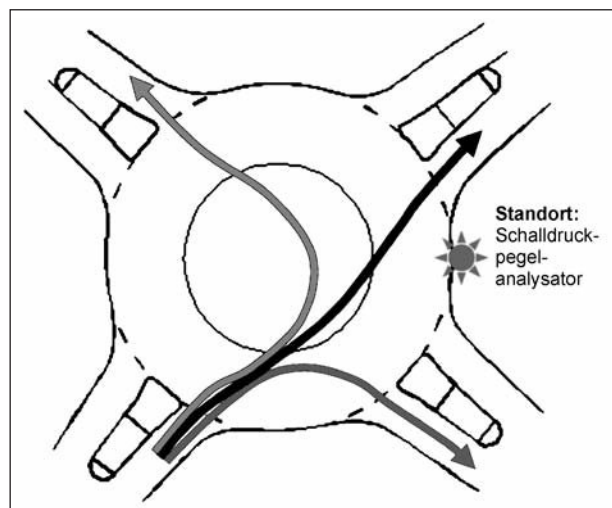


Bild 128: Fahrmanöver für Schallpegelmessungen

gen, jeweils 9 Messungen für die Manöver Linksabbiegen, Geradeaus/Kreuzen und Rechtsabbiegen.

Die Erhebungen des Schalldruckpegels erfolgten mit einem Schallpegelanalysator vom Typ 2250 der Firma BRÜEL & KJAER. Dabei handelt es sich um ein geeichtes Schallpegelmessgerät, welches die internationale Norm (IEC 61672-1) in der Präzisionsklasse 1 erfüllt und damit Messergebnisse mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,7$  dB liefert.

Als Messstellen wurden drei unterschiedliche Minikreisverkehre ausgewählt, deren Kreisinsel

- (1) mit einem Pflasterbelag befestigt und mit einem 3 cm hohen Bord (in Bezug zum Niveau der Kreisfahrbahn) eingefasst war,
- (2) eine asphaltierte Oberfläche aufwies und mit einem 3 cm hohen Bord (in Bezug zum Niveau der Kreisfahrbahn) eingefasst war,
- (3) als Kugelkalotte ohne Bordeinfassung ausgebildet und mit einem unterbrochenen Breitstrich als Markierung versehen war.

Im Folgenden werden die für die Schalldruckpegelerhebung relevanten Gestaltungsmerkmale der drei untersuchten Minikreisverkehre erläutert.

#### Messstelle (1)

Der Minikreisverkehr in Kerpen-Sindorf (Ertstraße/Nordstraße) befindet sich innerhalb eines Wohngebiets. Die Verkehrsanlage weist eine enge Bebauung auf und wird regelmäßig von Linienbussen befahren. Der Minikreisverkehr hat einen Außendurchmesser von 16 m. Die Kreisinsel (Durchmesser 7 m) ist mit Pflaster befestigt und durch einen 3 cm hohen Bord begrenzt. Zusätzlich ist ein Breitstrich umlaufend um die Kreisinsel aufgebracht. In allen Zufahrten sind Fußgängerüberwege und befahrbare Fahrbahnteiler in Pflasterbauweise mit Bordeinfassung auf Fahrbahnniveau angeordnet – vgl. Bild 129.

#### Messstelle (2)

Der Minikreisverkehr in Bergheim (Neusser Straße/Heerstraße) befindet sich am Ortsrand. Eine Bebauung ist ausschließlich südlich der Neusser Straße vorhanden. In der östlichen Zufahrt befindet sich ca. 35 m vom Minikreisverkehr entfernt die Ortstafel. Die Verkehrsanlage wird regelmäßig von Linienbussen befahren. Der Minikreisverkehr hat einen Außendurchmesser von 19 m.



**Bild 129:** Messstelle (1) – Minikreisverkehr mit gepflasterter Kreisinsel in Kerpen-Sindorf



**Bild 130:** Messstelle (2) – Minikreisverkehr mit asphaltierter Kreisinsel in Bergheim

Die Kreisinsel (Durchmesser 10 m) weist eine asphaltierte Oberfläche auf und wird durch einen 3 cm hohen Bord begrenzt. Sowohl am äußeren Rand der Kreisinsel als auch am inneren Fahrbahnrand ist ein umlaufender Breitstrich aufgebracht (vgl. Bild 130). Querungshilfen in Form von Fußgängerüberwegen sind ausschließlich in der südlichen und westlichen Zufahrt vorhanden. Asphaltierte Fahrbahnteiler mit Hochborden sind in der östlichen und südlichen Zufahrt angelegt.

#### Messstelle (3)

Die Messstelle (3) befindet sich in Euskirchen-Kirchheim (Talsperrenstraße/Kirchheimer Straße). Der Minikreisverkehr liegt innerhalb eines Wohngebiets nahe der Ortsgrenze. Auch dieser Minikreisverkehr wird regelmäßig von Linienbussen befahren. Die Verkehrsanlage weist einen Außendurchmesser von 18 m auf. Die asphaltierte und als Kugelkalotte ausgebildete Kreisinsel (Durchmesser 10 m) ist ausschließlich durch einen unterbrochenen Breitstrich markiert. Eine Bordeinfassung ist nicht vorhanden. Querungshilfen in Form von Fußgängerüberwegen sind nicht angeordnet. Mittellinseln sind in jeder Zufahrt als Tropfen markiert (vgl. Bild 131). Der Minikreisverkehr befindet sich in bewegtem Gelände und weist in Ost-West-



**Bild 131:** Messstelle (3) – Minikreisverkehr mit markierter und als Kugelkalotte ausgeführter Kreisinsel in Euskirchen-Kirchheim

Richtung eine Längsneigung (variiert in den Zufahrten bis zu ca. 4 %) auf.

Im Gegensatz zu den anderen Messstellen ist dieser Minireisverkehr nur dreiarstig. Aufgrund der T-Form konnte er jedoch in ähnlicher Weise wie die anderen Messstellen befahren werden. Dabei wurde die Befahrungsanzahl aus den einzelnen Zufahrten erhöht, um wie bei den anderen beiden Minikreisverkehren ebenfalls 9 auswertbare Messungen für jedes Fahrmanöver (Linksabbiegen, Kreuzen und Rechtsabbiegen) zu erhalten.

Die Erhebungen der Schalldruckpegel wurden am 22. und 23. März 2011 durchgeführt. Um die Vorgabe zu erfüllen, die Befahrungen möglichst in Zeiten geringer Verkehrsbelastungen durchzuführen, wurden die Schallpegel

- an Messstelle (1) am 22.03. von 13:00 bis 14:15 Uhr,
- an Messstelle (2), am 22.03. von 10:00 bis 11:30 Uhr und
- an Messstelle (3) am 23.03. von 10:30 bis 11:45 Uhr

erhoben.

### 6.3 Ergebnisse

Bevor die Ergebnisse der einzelnen Befahrungen verglichen werden, erfolgt zunächst eine Gegenüberstellung der Mittelungspegel in Form des äquivalenten Dauerschallpegels  $L_{eq}$  an den einzelnen Messstellen – siehe Tabelle 40. Der äquivalente Dauerschallpegel dient zur Kennzeichnung der Belastung durch Geräusche mit zeitlich schwankenden Schallpegeln. Er ist ein über die Messzeit  $T$  gemittelter Wert, der mit Hilfe einer kontinuierlichen Integration des schwankenden Schallpegels  $L(t)$  über die Messzeit  $T$  nach Gleichung 59 berechnet wird.

Messung	Äquivalenter Dauerschallpegel $L_{eq}$		
	Befahrung aus		
Messstelle	Zufahrt 1	Zufahrt 2	Zufahrt 3
(1) Pflasterinsel mit Bord	74 dB(A)	69 dB(A)	68 dB(A)
(2) Asphaltinsel mit Bord	67 dB(A)	67 dB(A)	65 dB(A)
(3) Asphaltinsel nur markiert	64 dB(A)	69 dB(A)	70 dB(A)

**Tab. 40:** Mittelungspegel an den Messstellen

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1 \cdot L(t)} dt \right] \quad \text{Gl. 59}$$

mit

$L_{eq}$  äquivalenter Dauerschallpegel [dB]

$L(t)$  im Zeitintervall  $t$  erhobener Schallpegel [dB]

$T$  Messdauer [s]

Der Wert des äquivalenten Dauerschallpegels wird für den jeweiligen Messzeitraum (umfasst die Beobachtungsdauer für die 9 Fahrmanöver aus einer Zufahrt – ca. 25 bis 30 min) durch den verwendeten Schallpegelmessgerät unmittelbar als Ergebnis geliefert. Bei der Angabe des erhobenen Schallpegels ist zu berücksichtigen, dass das menschliche Gehör bei sehr niedrigen und hohen Frequenzen weniger empfindlich ist. Um dies zu berücksichtigen, werden bei Schallmessungen i. d. R. Bewertungsfilter angewendet. Die gebräuchlichste Frequenzbewertung ist die „A-Bewertung“, wobei die Ergebnisse als dB(A) bezeichnet werden, was etwa der Empfindlichkeit des menschlichen Ohrs entspricht.

Die in Tabelle 40 für die einzelnen Messungen angegebenen Mittelungspegel liegen zwischen 64 und 74 dB(A), wobei der höchste Mittelungspegel für die Schallpegelerhebung der Zufahrt 1 an Messstelle (1) zu beobachten war. Dieser hohe Mittelungspegel ist auf ein hohes Schulbusaufkommen im Messzeitraum (Zufahrt 1: 13:00 bis 13:30 Uhr) zurückzuführen. In den nachfolgenden Messzeiträumen (Zufahrt 2 und 3: 13:30 bis 14:15 Uhr) war ein deutlich niedrigeres Schulbusaufkommen zu beobachten.

Für die Auswertung der Einzelbefahrungen werden die momentan gemessenen Schallpegel in Form des „A“- (Frequenz) und „F“- (Zeit) bewerteten Schallpegels ( $L_{AF}$ ) verglichen. „F“ steht dabei für Fast und spiegelt die Einschwingzeit (125 ms) für die Zeitbewertung wider. Durch den Schallpegelanalysator wird alle 100 ms ein Messwert protokol-

liert, wodurch die Spitzen eines schwankenden Schallereignisses ( $L_{\max}$ ) besonders gut erkennbar sind.

In Bild 132 bis Bild 134 sind die momentanen Schallpegelverläufe für die unterschiedlichen Fahrmanöver gegenübergestellt (dünne Linien: Pegelverläufe der einzelnen Befahrungen; dicke Linien: Mittelwerte aus allen Befahrungen einer Messstelle). Dargestellt sind die zeitlichen Verläufe der momentanen Schallpegel von 8 s vor (negativer Wert) bis 8 s nach der Befahrung der Kreisinselmitte durch das Messfahrzeug. Die Befahrung der Kreisinselmitte durch das Messfahrzeug erfolgte i. d. R. zum Zeitpunkt 0 s. Die eigentliche Befahrung des Minikreisverkehrs durch das Messfahrzeug dauerte je nach Fahrmanöver ca. 6 s, also von -3 s bis 3 s. Die im Bereich -8 s bis -3 s bzw. 3 s bis 8 s ermittelten Schallpegel sind folglich auf das in der Zufahrt wartende Messfahrzeug bzw. das sich vom Kreis entfernende Messfahrzeug oder auf andere Fahrzeuge zurückzuführen.

Weiterhin sind zur Analyse der erhobenen Schallpegel die Maximalwerte der gemittelten momentanen Schallpegel an den Messstellen in Abhängigkeit des Fahrmanövers in Tabelle 41 aufgeführt. Im Folgenden werden die dargestellten Ergebnisse für die einzelnen Fahrmanöver analysiert.

### Rechtsabbiegen (RA) – Bild 132

Das Fahrmanöver Rechtsabbiegen konnte an allen Messstellen ohne Befahrung der Kreisinsel durch das Messfahrzeug realisiert werden. Unterschiede in den momentanen Schallpegeln für die unterschiedlichen Messstellen stehen demzufolge nicht im Zusammenhang mit der Kreisinselausführung.

Die höchsten Schallpegel ergeben sich in Bild 132 am Scheitelpunkt der Fahrlinie des Rechtsabbiegevorgangs (Zeitpunkt 0 s). An dieser Stelle ist die Distanz zwischen Messfahrzeug und Schallpegel-

Schallpegel Messstelle	mittlerer momentaner Schallpegel $L_{AF}$		
	Fahrmanöver		
	Rechtsabbiegen	Geradeaus/ Kreuzen	Linksabbiegen
(1) Pflasterinsel mit Bord	74 dB(A)	82 dB(A)	74 dB(A)
(2) Asphaltinsel mit Bord	73 dB(A)	81 dB(A)	76 dB(A)
(3) Asphaltinsel nur markiert	74 dB(A)	79 dB(A)	74 dB(A)

Tab. 41: Maximalwerte der gemittelten momentanen Schallpegel an den Messstellen in Abhängigkeit des Fahrmanövers

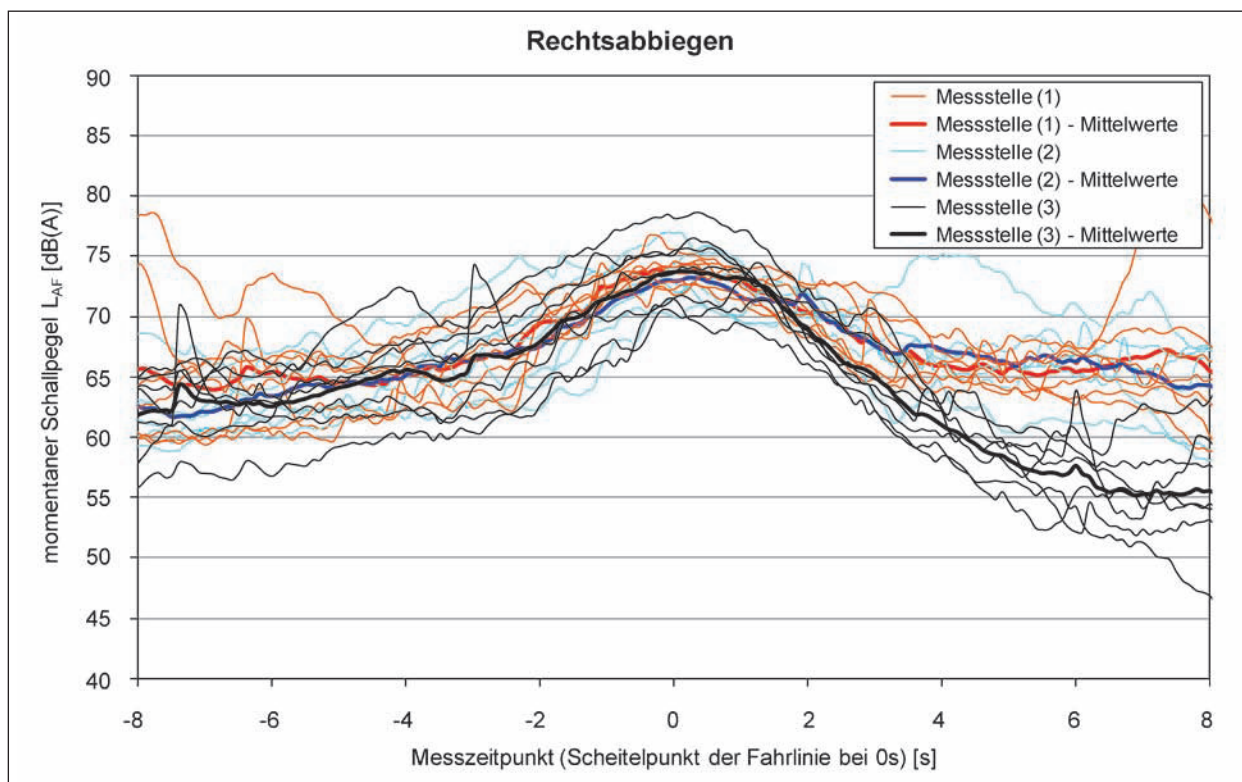


Bild 132: Momentane Schallpegel  $L_{AF}$  an den untersuchten Minikreisverkehren für das Fahrmanöver Rechtsabbiegen

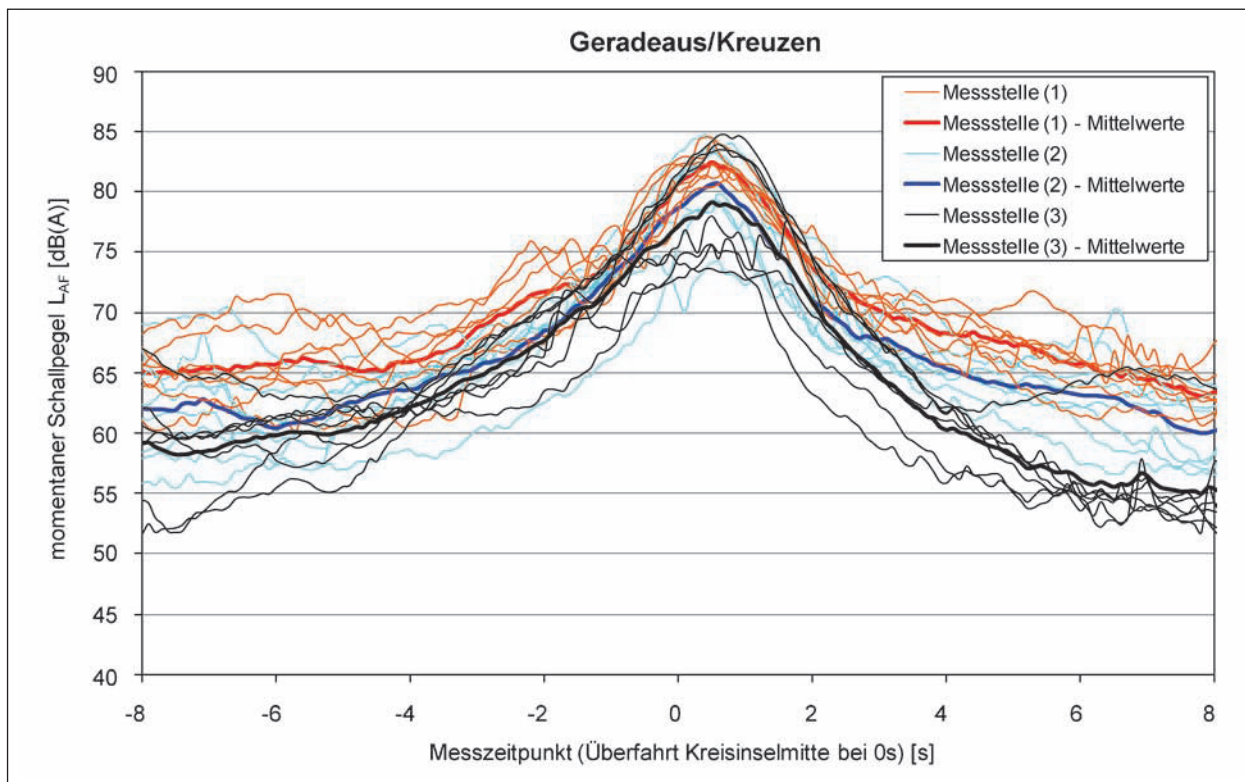
analysator am geringsten (vgl. Bild 128). Die für die Messstellen über die Einzelbefahrungen gemittelten Schallpegel weisen bei der Anwesenheit des Messfahrzeugs am Scheitelpunkt der Fahrlinie etwa um 10 dB(A) höhere Schallpegel als bei Normalverkehr (Abwesenheit des Messfahrzeugs) auf. Unterschiede zwischen den mittleren Schallpegeln der einzelnen Messstellen sind im relevanten Messbereich (-3 s bis 3 s) nicht zu erkennen. Auch die in Tabelle 41 angegebenen Maximalwerte der über die Einzelbefahrungen gemittelten Schallpegel liegen im Bereich von 73 bis 74 dB(A) dicht beieinander und lassen keine interpretierbaren Unterschiede erkennen.

Auffällig bei Betrachtung der Schallpegelverläufe der einzelnen Befahrungen an Messstelle (3) sind die großen Streuungen im Bereich von -2 s bis +2 s (Bild 132). So sind über alle Messstellen betrachtet die lauteste und die leiseste Befahrung Messstelle (3) zuzuordnen. Diese Auffälligkeit ist durch die Längsneigung an Messstelle (3) zu erklären. So erfolgten ein Teil der Befahrungen bergab und der andere Teil bergauf, wobei der Lärmausstoß in Form der Antriebsgeräusche stark variiert.

### Geradeaus/Kreuzen (GF) – Bild 133

Bei dem Fahrmanöver Geradeaus/Kreuzen erfolgt eine nahezu vollständige Befahrung der Kreisinsel. Unterschiede in den für die Messstellen beobachteten Schallpegeln können folglich in Zusammenhang mit höheren Rollgeräuschen bei bestimmten Kreisinselausführungen stehen.

Die Verläufe der erhobenen Schallpegel in Bild 133 zeigen die höchsten Schallpegel ca. 0,5 s nach Überfahrt der Kreisinselmittle durch das Messfahrzeug. Das ist darauf zurückzuführen, dass das Messfahrzeug kurz nach Passieren der Kreisinselmittle unmittelbar am Standort des Schallpegelanalysators vorbeifährt (vgl. Bild 128). Die geringe Distanz zwischen Schallquelle und Messgerät führt im Moment der Vorbeifahrt zu den höchsten Schallpegeln. Aufgrund der im Vergleich zu den anderen Fahrmanövern nahen Vorbeifahrt am Schallpegelanalysator ergeben sich für das Fahrmanöver Geradeaus/Kreuzen die größten Schallpegelzunahmen. So liegen die für die einzelnen Messstellen gemittelten Schallpegel bei Vorbeifahrt des Messfahrzeugs am Messgerät ca. um 20 dB(A) höher als bei Normalverkehr (kein Messfahrzeug).



**Bild 133:** Momentane Schallpegel  $L_{AF}$  an den untersuchten Minikreisverkehren für das Fahrmanöver Geradeaus/Kreuzen

Die für die Einzelbefahrungen an Messstelle (3) erhobenen Schallpegelverläufe weisen, wie beim Fahrmanöver Rechtsabbiegen erläutert, die größten Streuungen aufgrund der Längsneigung auf.

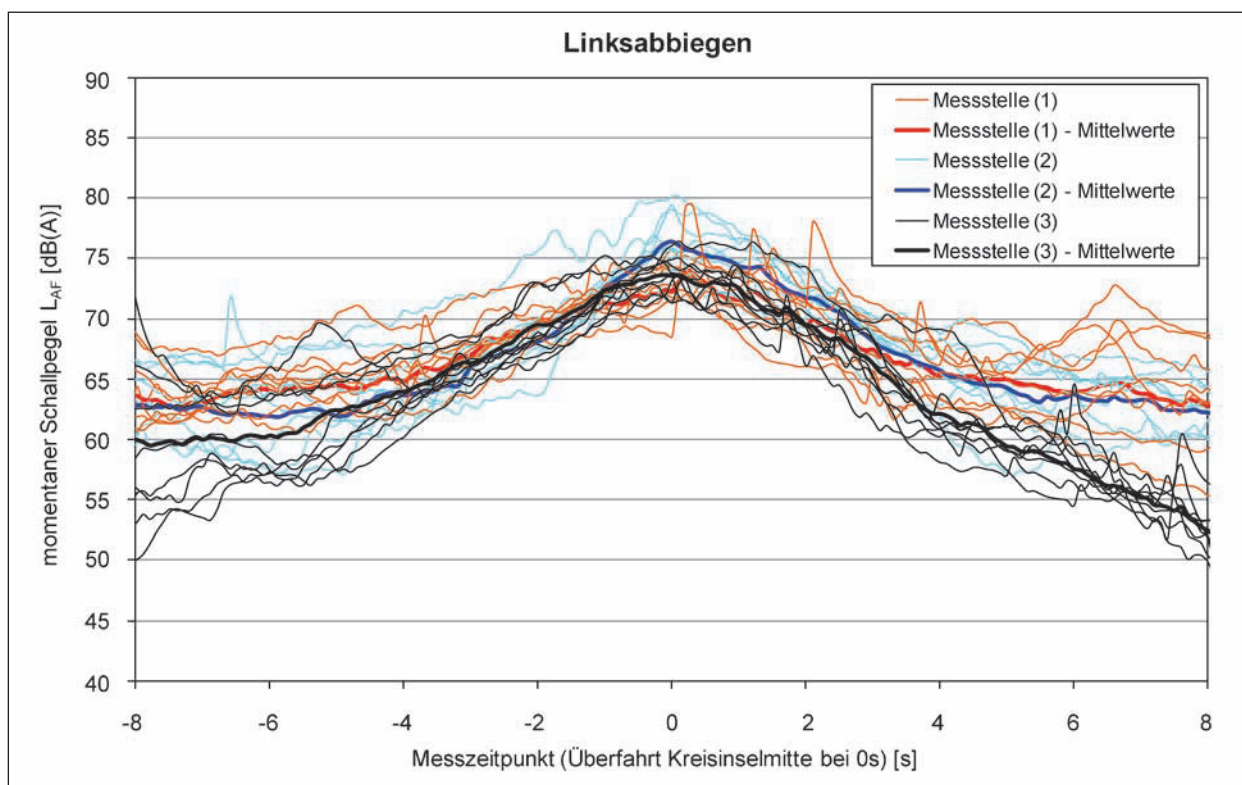
Der Vergleich des für die Befahrungen durch das Messfahrzeug relevanten Bereichs (-3 s bis 3 s) lässt Unterschiede in den mittleren Schallpegelverläufen für die einzelnen Messstellen erkennen (Bild 133). So ist für die Messstelle (1) mit gepflasterter Kreisinsel im Mittel die absolut höchste Lärmbelastung zu erkennen. Für Messstelle (3) mit ausschließlich markierter Kreisinsel sind die niedrigsten absoluten Schallpegel bei Vorbeifahrt am Messgerät zu erkennen. Der Verlauf des mittleren Schallpegels für Messstelle (2) mit asphaltierter Kreisinsel (mit Bordeinfassung) liegt im relevanten Bereich zwischen denen der Messstellen (1) und (3). Tabelle 41 zeigt jedoch, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Messstellen mit maximal 3 dB(A) vergleichsweise niedrig ausfallen.

#### Linksabbiegen (LA) – Bild 134

Für das Fahrmanöver Linksabbiegen ist wie bei Geradeaus/Kreuzen eine vollständige Befahrung der Kreisinsel durch das Messfahrzeug notwendig.

Die Kennlinien der Schallpegelmessungen in Bild 134 zeigen für alle Messungen einen weniger stark ausgeprägten Verlauf als bei dem Fahrmanöver Geradeaus/Kreuzen. Dies ist dadurch zu erklären, dass beim Linksabbiegen das Messfahrzeug nicht unmittelbar am Standort des Schallpegelanalysators vorbeifährt und somit die Minimaldistanz zwischen Schallquelle und Messgerät deutlich größer ist als beim Fahrmanöver Geradeaus/Kreuzen (vgl. Bild 128). Zum Zeitpunkt der Überfahrt der Kreisinselmitte ist der Abstand zwischen Messgerät und Messfahrzeug am niedrigsten, weshalb sich für den Zeitpunkt 0 s die höchsten Schallpegel ergeben. Die für die einzelnen Messstellen gemittelten Schallpegel weisen zum Zeitpunkt 0 s bei Anwesenheit des Messfahrzeugs etwa um 13 dB(A) höhere Schallpegel als bei Normalverkehr (Abwesenheit des Messfahrzeugs) auf.

Im für die Befahrungen durch das Messfahrzeug relevanten Bereich (-3 s bis 3 s) lassen sich zwischen den mittleren Schallpegelverläufen der Messstelle (1) und (3) keine deutlichen Unterschiede erkennen. Die für Messstelle (2) im Mittel erhobenen Schallpegel liegen im relevanten Messbereich etwa um 2 dB(A) höher als die der anderen beiden Messstellen (vgl. auch Tabelle 41).



**Bild 134:** Momentane Schallpegel  $L_{AF}$  an den untersuchten Minikreisverkehren für das Fahrmanöver Linksabbiegen



## 6.4 Schlussfolgerungen

Für die an den drei Minikreisverkehren mit unterschiedlicher Kreisinselausführung (gepflastert mit Bord, asphaltiert mit Bord und asphaltiert, nur markiert) durchgeführten Schallpegelmessungen lassen sich folgende Ergebnisse zusammenfassen:

- Die Unterschiede in den Ausprägungen der Schallpegelverläufe (maximale Pegelerhöhung) für die einzelnen Fahrmanöver sind auf die unterschiedliche Annäherung des Messfahrzeuges an den Schallpegelanalysator zurückzuführen. Die dichteste Annäherung ergab sich für das Fahrmanöver Geradeaus/Kreuzen, weshalb für diese Fahrmanöver die höchsten Pegel ermittelt wurden. Diese Tatsache ist auf das Erhebungsdesign zurückzuführen und kann nicht für verallgemeinernde Aussagen verwendet werden.
- Für das Fahrmanöver Rechtsabbiegen waren nahezu keine Unterschiede in den mittleren Schallpegelverläufen zwischen den einzelnen Messstellen zu erkennen. Da bei diesem Fahrmanöver keine Befahrung der Kreisinsel erfolgt, ist dieses Ergebnis im Sinne einer Kontrollgruppe als positiv einzuordnen (vergleichbare Erhebungsbedingungen an allen Messstellen).
- Für das Fahrmanöver Geradeaus/Kreuzen, bei dem eine nahezu vollständige Befahrung der Kreisinsel stattfindet, waren Unterschiede sowohl für die mittleren Schallpegelkennlinien als auch für die mittleren Maximalpegel zu beobachten. Dabei waren für die Messstelle (1) mit gepflasterter Kreisinsel der höchste Lärmpegel und für die Messstelle (3) mit ausschließlicher Markierung der Kreisinsel der niedrigste Lärmpegel zu beobachten. Die Abweichungen der Schallpegel zwischen den drei Messstellen lagen unter 3 dB(A).
- Für das Fahrmanöver Linksabbiegen, bei dem eine vollständige Befahrung der Kreisinsel stattfindet, waren lediglich für Messstelle (2) Abweichungen gegenüber den anderen beiden Messstellen zu beobachten. Dabei lagen die für den Minikreisverkehr mit asphaltierter Kreisinsel und Bordeinfassung beobachteten Schallpegel etwa um 2 dB (A) über denen der Minikreisverkehre mit gepflasterter bzw. ausschließlich markierter Kreisinsel.

Zur Beurteilung der Ergebnisse ist eine Einordnung der beobachteten Schallpegelunterschiede zwi-

schen den einzelnen Messstellen notwendig. Nach BRÜEL & KJAER (2001) bedeutet eine Zunahme des Schallpegels um 6 dB eine Verdopplung des Schalldrucks, jedoch ist eine Zunahme um 8 bis 10 dB erforderlich, bevor der Schall subjektiv als wesentlich lauter empfunden wird. Die kleinste wahrnehmbare Änderung beträgt ca. 1 dB. Ein vereinfachtes Modell der Wahrnehmungsschwellen ist in Bild 135 dargestellt.

Auch ohne eine statistische Überprüfung der an den Messstellen beobachteten Unterschiede auf Signifikanz kann auf Basis der Wahrnehmungsschwellen in Bild 135 geschlussfolgert werden, dass die in Bild 132 bis Bild 134 bzw. in Tabelle 41 beobachtbaren Unterschiede in den mittleren Schallpegeln unterhalb des erkennbaren Bereichs für das menschliche Ohr liegen. Folglich kann der Ausführung der Kreisinsel – als Pflasterbelag mit Bord, in Asphaltbauweise mit Bord oder in Form der ausschließlichen Markierung – kein relevanter Einfluss auf die Lärmemissionen an Minikreisverkehren nachgewiesen werden. Hinzu kommt das ohnehin recht geringe Schwerverkehrsaufkommen an Minikreisverkehren auftreten, was zu vergleichsweise seltenen Befahrungen der Kreisinsel führt.

Auf Basis dieser Untersuchungsergebnisse ist eine konkrete Ausführungsempfehlung für die Kreisinsel von Minikreisverkehren aus Gründen der Lärmemission nicht zu rechtfertigen. Lärmempfindungen werden zwar durch den A-bewerteten Schallpegel abgebildet (BRÜEL & KJAER, 2001), es ist aber nicht auszuschließen, dass zusätzliche Störwirkungen (z. B. durch unterschiedliche Frequenzverläufe) auftreten. Diese wären aber nur durch erhebliche Mess- und Evaluationsaufwendungen zu erkennen. Für Planungsempfehlungen zur Kreisinselausführung sollten daher vielmehr Aspekte der Verkehrssicherheit im Vordergrund stehen – siehe Kapitel 4.

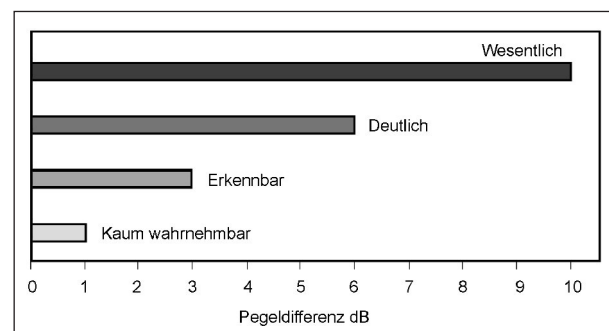


Bild 135: Wahrnehmungsschwellen von Schallpegeländerungen (BRÜEL & KJAER, 2001)

## 7 Zusammenfassung/ Empfehlungen

### 7.1 Aufgabenstellung

Im innerörtlichen Straßennetz hat sich die Anlage von Minikreisverkehren sowohl hinsichtlich der Verkehrssicherheit als auch der Qualität des Verkehrsablaufs in vielen Fällen bewährt. Minikreisverkehre fanden dementsprechend Eingang in die aktuellen Regelwerke. Bei Beachtung der dort genannten Vorgaben zur Lage und Funktion im Netz sowie bezüglich der Ausführung und Ausstattung sind Minikreisverkehre eine geeignete Knotenpunktart.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, die in der Praxis anzutreffende Vielfalt zu erfassen und auf Grundlage empirischer Untersuchungen belastbare Aussagen zur Verkehrssicherheit sowie zur Qualität des Verkehrsablaufs in Abhängigkeit von Lage und Funktion im Netz und der jeweiligen Ausgestaltung der Minikreisverkehre zu gewinnen.

### 7.2 Verkehrssicherheit

Minikreisverkehre haben sich im Ergebnis dieser Untersuchungen – auch im Vergleich mit möglichen „konkurrierenden“ Knotenpunktarten – als sehr sichere Knotenpunktart erwiesen.

Fast die Hälfte der untersuchten Minikreisverkehre weist keine Unfälle auf, die mittlere Unfallkostenrate ( $UKR_{K,M}$ ) liegt deutlich unter denen von Einmündungen und Kreuzungen mit Verkehrszeichenregelung und Lichtsignalsteuerung. Dabei weisen 4-armige Minikreisverkehre ein höheres Unfallgeschehen auf als 3-armige. Unfälle mit schwerem Personenschaden kommen kaum vor, es dominieren leichte Personenschäden. Anders als bei kleinen Kreisverkehren ist der vorherrschende Unfalltyp Einbiegen/Kreuzen-Unfälle. Bei Unfällen mit Personenschaden sind vor allem Fahrräder und Kfz, bei Unfällen mit schwerem Sachschaden überwiegend Kfz untereinander beteiligt.

Ein deutlicher Einfluss besonderer Umstände lässt sich über alle Unfälle nicht ableiten, aber an den 10 unfallträchtigsten Minikreisverkehren geschieht jeder zweite Unfall bei Nässe und an etwa jedem dritten waren Radfahrer beteiligt. An knapp 2 von 3 Unfällen waren Zweiräder (motorisierte und nicht-motorisierte) beteiligt.

Die Tatsache, dass nur ca. 10 % der untersuchten Minikreisverkehre 40 % des gesamten erfassten

Unfallgeschehens aufweisen, macht deutlich, dass es wenige Besonderheiten geben muss, die dies bewirken. Im Grunde genommen überlagern sich in diesen – wenigen – Fällen Defizite z. B. in der Erkennbarkeit und Sicht mit besonderen Umständen wie Nässe/Regen, die dann die weniger gut erkennbaren vorfahrtberechtigten Zweiradfahrer besonders gefährden, zumal sie aufgrund der kurzen Entfernungen schneller am Konfliktpunkt sind als erwartet.

Neben der grundlegenden Forderung nach Einhaltung der notwendigen Sichtfelder sollte immer geprüft werden, ob – je nach Lage – die rechtzeitige Erkennbarkeit des Minikreisverkehrs durch Hinweisschilder verstärkt werden kann.

Die bauliche Ausprägung der Mittelinsel kann darüber hinaus die für Kreisverkehre charakteristische Vorfahrtregelung verdeutlichen, was sich auch in der Unfallanalyse gezeigt hat.

Bezüglich der im Regelwerk geforderten einheitlichen Ausstattung der Minikreisverkehre mit Fahrbahnteilern und Fußgängerüberwegen in allen Zufahrten lassen sich keine prägnanten Empfehlungen ableiten. Offensichtlich sind in Abhängigkeit der jeweiligen Fußgängerbeziehungen und des Fußgängerverkehrsaufkommens auch spezifische Lösungen verkehrssicher zu gestalten.

Der Einsatz von Minikreisverkehren erfolgt in der Praxis in der Regel als kostengünstiger Ersatz insbesondere von Lichtsignalanlagen (Betriebskosten) oder zur Verbesserung der Verkehrssicherheit an vorfahrtgeregelten Knotenpunkten (Herstellungskosten). Daher wird überwiegend versucht, den Minikreisverkehr mit möglichst geringer baulicher Veränderung der bestehenden Borde usw. zu realisieren. Dies führt in vielen Fällen dazu, dass die Seitenräume unverändert bleiben und die notwendige barrierefreie Gestaltung der Verkehrsanlage nicht erreicht wird. Hier besteht ein deutlicher Nachbesserungsbedarf.

### 7.3 Verkehrsqualität

Zur Beurteilung der Verkehrsqualität an Minikreisverkehren wurden mit dem Regressions-, dem Zeitlücken- und dem Konfliktmatrixverfahren drei mögliche Ansätze analysiert. Alle drei Berechnungsansätze basieren auf der für Kreisverkehre typischen Betrachtungsweise als Abfolge von Einmündungen mit Vorfahrtregelung. Verfahrensansätze, welche

den Kreisverkehr als Gesamtanlage bewerten, wurden aufgrund der möglichen Wechselwirkungen zwischen den Zufahrten und der daraus resultierenden Komplexität nicht betrachtet. Die Ergebnisse der Videobeobachtungen zeigten, dass die zufahrtsweise Kapazitätsermittlung auch an Minikreisverkehren eine zulässige Vereinfachung darstellt, da sich die Verkehrsabläufe an den Minikreisverkehrszufahrten als weitestgehend unabhängig voneinander darstellten.

Die Verkehrsbeobachtungen an Minikreisverkehren ließen eine deutliche Beeinflussung der in der Zufahrt wartenden Verkehrsteilnehmer durch die den Minikreisverkehr am selben Knotenarm verlassenden Fahrzeuge erkennen. Dieser Effekt ist auf die geringen Außendurchmesser von Minikreisverkehren und die damit in Zusammenhang stehenden kürzeren Distanzen zwischen den Konfliktpunkten der Ein- und Ausfahrt zurückzuführen. Eine solche Beeinflussung ist in Deutschland bisher nur an Minikreisverkehren beobachtet worden. Der beobachtete Beeinflussungsgrad ausfahrender Verkehrsteilnehmer wurde in den untersuchten Verfahrensansätzen berücksichtigt bzw. durch Vergleiche mit den empirisch erhobenen Kapazitäten quantifiziert.

Die Untersuchung der Verfahrensansätze zur Kapazitätsbestimmung an Minikreisverkehren bestätigt die überschlägige Aussage, dass die Summe der Konfliktströme nicht über 1.200 Fz/h betragen sollte. Für die Beurteilung der Verkehrsqualität an Minikreisverkehren kann grundsätzlich der im Kapitel S5 des HBS-Entwurfs enthaltene Ansatz auf Basis der Zeitlückentheorie verwendet werden. Es wird jedoch empfohlen,

- die im Rahmen dieses Forschungsprojekts erhobenen Zeitlücken (für die Grenzzeitlücke  $t_g = 4,7$  s, die Folgezeitlücke  $t_f = 3,1$  s und die Mindestzeitlücke  $t_{min} = 2,5$  s) unabhängig vom Außendurchmesser eines Minikreisverkehrs zu verwenden;
- bei der Ermittlung der maßgebenden Hauptstrombelastung neben den Verkehrsstärken der bevorrechtigten Verkehrsströme im Kreis auch 15 % des am selben Knotenarm ausfahrenden Verkehrs zu berücksichtigen;
- den Einfluss bevorrechtigter Fußgängerströme in der Zufahrt (Minikreisverkehre mit Fußgängerüberwegen) durch die im Rahmen des Forschungsprojektes ermittelten Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen. Die im Kapitel S5 des

HBS-Entwurfs enthaltenen Abminderungsfaktoren unterschätzen den kapazitätsmindernden Einfluss der Fußgänger. Die Plausibilität der HBS-Empfehlung, die Abminderungsfaktoren auch bei wartepflichtigen Fußgängerströmen (Minikreisverkehre ohne Fußgängerüberweg) zu verwenden, konnte anhand der untersuchten Minikreisverkehre nicht beurteilt werden, da an den Anlagen mit nennenswerten Fußgängeraufkommen Fußgängerüberwege angeordnet waren. Unter der Annahme StVO-konformen Verhaltens sollte in diesen Fällen aber auf eine Abminderung verzichtet werden.

Bei der Ermittlung der Grenzzeitlücken wurde festgestellt, dass die Ausfahrer die Größe der Grenzzeitlücke maßgeblich beeinflussen. Es wird daher empfohlen, bei der Grenzzeitlückermittlung von Minikreisverkehren nur angenommene und abgelehnte Zeitlücken zu berücksichtigen, die nicht von ausfahrenden Fahrzeugen beeinflusst wurden, da sonst die mittlere Grenzzeitlücke überschätzt wird.

Weiterhin ergaben die Ergebnisse der Verkehrsbeobachtungen und der mikroskopischen Verkehrsflusssimulationen, dass prinzipiell auch das Regressions- und das Konfliktmatrixverfahren zur Beschreibung der Verkehrsverhältnisse an Minikreisverkehren geeignet sind. Das Regressionsverfahren unterschätzt jedoch im Bereich mittlerer Verkehrsbelastungen die realen Kapazitäten und der im Konfliktmatrixverfahren enthaltene Ansatz zur Berücksichtigung bevorrechtigter Fußgängerströme überschätzt im Bereich mittlerer Verkehrsbelastungen den kapazitätsmindernden Einfluss bevorrechtigter Fußgängerströme.

Das im Rahmen des Forschungsprojektes entwickelte Konfliktmatrixverfahren ermöglicht die Kapazitätsermittlung von Minikreisverkehrsausfahrten. Die Validierung dieses Berechnungsansatzes mittels mikroskopischer Verkehrsflusssimulationen zeigte, dass im praxisrelevanten Einsatzbereich (bis zu 300 Fg/h in der Ausfahrt) dieser Ansatz zuverlässige Ergebnisse liefert. Bei höherem Fußgängeraufkommen unterschätzt das Berechnungsverfahren den kapazitätsmindernden Einfluss der Fußgänger in der Ausfahrt. Von einer allgemeinen Kapazitätsüberprüfung von Minikreisverkehrsausfahrten mit dem Konfliktmatrixverfahren wird aber abgeraten, da in den Fällen, in denen die Kapazität der Ausfahrt maßgebend wird (aufgrund sehr hoher Fußgängerbelastung), das Berechnungsverfahren mit hoher Wahrscheinlichkeit zu unzutreffenden Er-

gebnissen führt und sich Verkehrsverhältnisse einstellen, welche mit deterministischen Berechnungsansätzen kaum abgebildet werden können (Rückstau in den Kreis). In diesen Belastungsbereichen bilden Simulationsuntersuchungen das geeignetere Werkzeug zur Beurteilung der Verkehrsqualität.

## 7.4 Lärmbelastung

Durch Schallpegelmessungen an drei ausgewählten Minikreisverkehren mit unterschiedlicher baulicher Gestaltung wurden die Auswirkungen von verschiedenen Oberflächengestaltungen der befahrbaren Mittelinsel auf die Lärmemissionen überprüft.

Die Unterschiede zwischen den für die untersuchten Kreisinselausführungen – als Pflasterbelag mit Bord, in Asphaltbauweise mit Bord oder in Form der ausschließlichen Markierung – erhobenen Schallpegeln lagen unterhalb des für das menschliche Ohr wahrnehmbaren Bereichs. Ein relevanter Einfluss auf die Lärmemissionen an Minikreisverkehren, welcher eine konkrete Ausführungsempfehlung für die Kreisinsel von Minikreisverkehren rechtfertigt, war folglich nicht abzuleiten.

## 8 Dokumentation

### 8.1 Kurzfragebogen


<p>Bitte bis zum <b>31. August 2009</b> zurücksenden an:</p> <p>Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ TU Dresden 01062 Dresden</p> <p>oder per Telefax: +49 (0)351 463-36502</p> <p style="text-align: center;"><b>Fragebogen zur Erfassung realisierter Minikreisverkehre</b></p> <p style="text-align: center;"><i>Fragebogen bei Bedarf bitte kopieren!</i></p> <p><b>Angaben zum Minikreisverkehr</b></p> <p>Stadt/Gemeinde: _____</p> <p>Straßennamen (bzw. Straßennummern): _____ _____</p> <p><b>Knotenpunktlage:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Knotenpunkt im Erschließungsstraßennetz</p> <p><input type="checkbox"/> Knotenpunkt zwischen Hauptverkehrs- und Erschließungsstraßen</p> <p><input type="checkbox"/> Knotenpunkt im Hauptverkehrsstraßennetz</p> <p><input type="checkbox"/> Knotenpunkt im Ortseinfahrtsbereich</p> <p>Jahr der Verkehrsfreigabe: _____</p> <p>Verkehrsbelastung (DTV, Spitzenstunde, ...): _____</p> <p><b>Lageplan:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Kopie als Anlage beigefügt</p> <p><input type="checkbox"/> Lageplan nicht verfügbar</p> <p><b>Unfalldaten/Verkehrsunfallanzeigen:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Unfalldaten/Verkehrsunfallanzeigen verfügbar</p> <p><input type="checkbox"/> Unfalldaten/Verkehrsunfallanzeigen nicht verfügbar</p> <p>Ansprechpartner: _____</p> <p style="padding-left: 20px;">Dienststelle: _____</p> <p style="padding-left: 20px;">Telefon: _____</p> <p style="padding-left: 20px;">E-Mail: _____</p>	<p><b>Absender/Ansprechpartner</b></p> <p>Name: _____</p> <p>Dienststelle: _____</p> <p>Adresse: _____</p> <p>Telefon: _____</p> <p>Telefax: _____</p> <p>E-Mail: _____</p>
<p style="font-size: small;">BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH (Aachen) Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik der TU Dresden</p> <div style="text-align: right;">  </div>	

Bild 136: Kurzfragebogen

## 8.2 Übersicht Minikreisverkehre der Verkehrssicherheitsuntersuchung

K-ID	Anz. Zuf.	Lage*	B-Land	Ort	Straße 1	Straße 2	Straße 3	Straße 4
1005	4	HS/ES	NW	Hürth	Max-Planck-Straße	Kalscheurener Straße		
1009	4	ES	NW	Lippstadt	Liesborner Straße	Mozartstraße		
1010	4	ES	NW	Lippstadt	Liesborner Straße	Parkstraße		
1012	3	ES	NW	Lippstadt	Trockelsweg	Am Eckernbusch		
1016	4	HS/ES	NW	Gummersbach	Reinighauser Straße	An der Höhe	Am Sandberg	
1017	4	ES	NW	Höxter	Gartenstraße	An der Wilhelmshöhe	Papenbrink	
1019	4	HS/ES (OE)	BW	Stuttgart	Frauenkopfstraße	Rosengartenstraße	Filderblickweg	
1020	4	HS/ES	BW	Stuttgart	Seelbergstraße	Daimlerstraße	Wildunger Straße	
1027	4	ES	NW	Gütersloh	Alter Hellweg	Schledebrück Straße		
1029	3	HS/ES	BW	Überlingen	Seestraße	Mühlenstraße		
1041	4	HS (OE)	NW	Wuppertal	Einern	Gennebrecker Straße	Mollenkotten	Barmer Straße
1044	4	HS	NW	Steinheim	Beller Straße	Wöbbeler Straße	Friedenstraße	
1046	4	HS/ES (OE)	NW	Beverungen	Zum Spring	Birkenstraße	Danziger Straße	
1048	3	ES	NW	Bad Driburg	Auf der Mühlenstätte	Mühlenstraße		
1049	3	ES	NW	Brakel	Danziger Straße	Giefersweg		
1050	3	HS	NW	Morsbach	Bahnhofstraße	Krottorfer Straße	Waldröler Straße	
1058	3	HS	NW	Porta Westfalica	Portastrasse	Flurweg		
1059	4	HS	NW	Porta Westfalica	Rintelner Straße	Kleinenbremer Straße	Bückeburger Straße	
1060	3	HS	NW	Rietberg	Mastholter Straße	Delbrücker Straße	Rathausstraße	
1061	3	HS	NW	Rietberg	Mastholter Straße	Bokeler Straße		
1062	3	HS (OE)	NW	Versmold	Münsterstraße	Westheider Weg		
1063	4	ES	NW	Versmold	Münsterstraße	Wersestraße	Wirusstraße	
1065	4	ES	NW	Harsewinkel	Ostheide	Remser Weg		
1066	4	ES	NW	Harsewinkel	Gütersloher Straße	Kreuzstraße	The-Claas-Damm	
1067	3	HS/ES	NW	Harsewinkel	Kirchplatz	Brockhäger Straße	Hesselteicher Straße	
1070	3	ES	NW	Hilden	Raffaelweg	Tizianweg		
1071	3	ES	NW	Hilden	Kalstert	Holbeinweg		
1072	3	HS	NI	Wittmund	Finkenburg-straße	Buttstraße		
1076	4	HS/ES	NI	Twistringen	Steller Straße	Mittelwand	Osterstraße	
1078	3	HS	NI	Hagen am Teuto- burger Wald	Osnabrücker Straße	Schulstraße		
1080	4	HS/ES	NI	Bippen	Maiburgstraße	Zu den Gründen	Bahnhofstraße	

\* (OE) = Lage ursprünglich als Ortseinfahrtsbereich eingestuft (vgl. Kapitel 3.5.1)

Tab. 42: Minikreisverkehre der Verkehrssicherheitsuntersuchung (n = 104 K), Tabelle 1 von 4

K-ID	Anz. Zuf.	Lage*	B-Land	Ort	Straße 1	Straße 2	Straße 3	Straße 4
1088	3	HS (OE)	NI	Grassel	Brunnenstraße	Bevenroder Straße		
1093	4	HS	NW	Nettetal	Gerberstraße	Kölner Straße	Brückenstraße	
1101	4	ES	NW	Wesel	Wackenbrucher Straße	Clarenbachstraße		
1104	4	ES	NW	Herford	Vorm Holzschlinge	Schwarzenmoorstraße		
1106	3	HS	NW	Bielefeld	Dorfstraße	Vilsendorfer Straße	Eickumer Straße	
1110	3	HS	NW	Bielefeld	Salzflüer Straße	Kusenweg		
1113	4	ES	BW	Mannheim	Leutweinstraße	Lüderitzstraße		
1115	4	HS (OE)	NW	Köln-Fühligen	Alte Römerstraße	Hitdorfer Fährweg		
1116	4	ES	NW	Köln	Fronhofstraße	Rochusstraße		
1117	4	ES	NW	Köln	Zum Dammfelde	Unter Gottes Gnaden		
1118	4	ES	NW	Köln	Zum Dammfelde	Buchenweg	Fliederweg	
1128	4	HS	NW	Ochtrup	Nienborger Damm	Metelener Straße	Schützenstraße	
1131	4	HS (OE)	NW	Beckum	Lippborger Straße	rzfelder Straße	Am Lippbach	
1132	4	HS/ES	NW	Rüthen	Hachtorstraße	Grabenweg	Mildestraße	Sauerdrift
1146	4	ES	NW	Bünde	Wilhelmstraße	Mathilde-Mayer-Straße	Zufahrt Marktkauf	
1149	3	HS/ES	NW	Arnsberg	Niedereimerfeld	Wannestraße		
1152	4	HS/ES (OE)	NW	Aachen	Vetschauer Weg	Horbacher Straße	Banker-Feld-Straße	
1153	4	HS/ES	NW	Würselen	Heidestraße	Ather Straße	An Steinhaus	
1154	3	ES	NW	Iserlohn	Refflingser Straße	Leckingser Straße		
1155	4	HS/ES	NW	Iserlohn	Kampstraße	Im Westerfeld	Op Lückenkamp	
1157	4	HS	NW	Neukirchen-Vluyn	Jahnstraße	Neukirchener Ring	Mozartstraße	
1164	4	ES	NW	Wermelskirchen	Biberweg	Viktoriastraße	Zufahrt OBI	
1171	4	HS/ES	BW	Schwäbisch Gmünd	Josefstraße	Heugenstraße	Weissensteiner Straße	Waldstetter Brücke
1172	3	HS	BW	Schwäbisch Gmünd	Scheffoldstraße	Weilerstraße	Neue Straße	
1175	4	HS	RP	Bitburg	Echternacher Straße	Saarstraße	Mötscher Straße	Trierer Straße
1176	4	HS/ES	RP	Bitburg	Mötscher Straße	Bahnhofstraße	Prälat-Benz-Straße	
1178	3	HS	RP	Dreis-Brück	Dockweiler Straße	Breite Straße	Hillesheimer Straße	
1179	4	HS/ES	RP	Lingenfeld	Germersheimer Straße	Lehrer-Ackermann-Straße	Beethovenstraße	
1186	4	ES	RP	Bad Dürkheim	Bruchstraße	Bruchstraße		
1189	4	HS	RP	Emmelshausen	Rhein-Mosel-Straße	Simmerner Straße	Bopparder Straße	
1193	4	HS	RP	Simmern	Holzbacher Straße	Kirchberger Straße		
1206	4	ES	RP	Hachenburg	Saynstraße	Adolf-Münch-Weg		
1218	4	HS	RP	Schweich	Brückenstraße	Bernhard-Becker-Straße	Neustraße	
1220	4	HS (OE)	RP	Nieder-Olm	Ebersheimer Straße	Weinbergring		

\* (OE) = Lage ursprünglich als Ortseinfahrtsbereich eingestuft (vgl. Kapitel 3.5.1)

Tab. 43: Minikreisverkehre der Verkehrssicherheitsuntersuchung (n = 104 K), Tabelle 2 von 4

K-ID	Anz. Zuf.	Lage*	B-Land	Ort	Straße 1	Straße 2	Straße 3	Straße 4
1221	4	HS	RP	Nieder-Olm	Pariser Straße	Oppenheimer Straße	Bahnhofstraße	
1224	4	HS (OE)	RP	Ockenheim	Ockenheimer Chaussee	Frankenstraße	Gaulsheimer Straße	
1226	4	HS	RP	Alsenbrück-Langmeil	Alsenztalesstraße	Sattelhof	Kaiserstraße	
1230	4	ES	NW	Tönisvorst	Schulstraße	Ringstraße	Hülser Straße	
1236	4	ES	NW	Attendorn	Am Hollenloch	Breslauer Straße	Mainzer Straße	
1238	3	HS/ES	NW	Vlotho	Salzuflener Straße	Valdorfer Straße	Rottstraße	
1242	4	ES	NW	Herne	Im Hasenkamp	Albert-Einstein-Straße		
1249	4	HS/ES	HB	Bremen	Marcus-Allee	Achterdiek	Nedderland	
1254	3	ES	SL	Saarlouis	Winterstraße	Oberhöllen		
1269	4	ES	BW	Karlsruhe, Stadtteil Oststadt	Ludwig-Wilhelm-Straße	Georg-Friedrich-Straße	Gerwigstraße	
1276	4	HS/ES	NW	Bergheim	Neusser Straße	Heerstraße		
1279	4	HS	NW	Marmagen	Kölnener Straße	Nettersheimer Straße	Steinfelder Weg	
1280	3	HS/ES	NW	Baesweiler	Aachener Straße	Mariastraße		
1282	4	HS/ES	NW	Langerwehe	Bahnhofstraße	Schönthaler Straße	Jüngersdorfer Straße	
1283	3	HS/ES	NW	Langerwehe	Hauptstraße	Schönthaler Straße		
1285	4	HS	NW	Erfststadt-Bliesheim	Merowingerstraße	Karolingerstraße		
1287	4	HS/ES (OE)	NW	Euskirchen-Flammersheim	Taubenstraße	Mönchstraße		
1289	4	HS/ES	NW	Kall	Aachener Straße	Bahnhofstraße	Im Sträßchen	
1290	3	HS/ES	NW	Kall	Hindenburgstraße	Bahnhofstraße		
1291	3	HS/ES	NW	Kall	Aachener Straße	Hindenburgstraße		
1292	3	HS	NW	Siegburg	Johannesstraße	Kronprinzenstraße		
1296	3	HS/ES	NW	Kleve	Hohe Straße	Breite Straße	Tweestrom	
1298	4	ES	NW	Krefeld	Schwertstraße	Dießemer Straße	Hardenbergstraße	
1299	4	ES	NW	Krefeld	Dülkener Straße	Heimatplan	Gießerpfad	Am Konnertzfeld
1300	3	ES	NW	Krefeld	Hagerweg	Küperstraße		
1307	4	ES	NW	Geseke	Kleiner Hellweg	Othmarstraße	Hellweg	Bachstraße
1308	4	ES	NW	Alsdorf	Eisenbahnstraße	Alte Aachener Straße		
1311	4	HS/ES	NW	Bochum	Hiltroper Straße	Grummer Straße		
1315	4	ES	NW	Düsseldorf	Mettmanner Straße	Langerstraße		
1317	3	HS	NW	Delbrück	Oststraße	Boker Straße		
1318	4	ES	NW	Gescher	Westfalenring	Borkener Damm		
1319	3	HS/ES	NW	Neuenrade	Affelner Straße	Plettenberger Straße	Diekentalstraße	
1321	4	HS/ES	NW	Bergisch Gladbach	Hermann-Löns-Straße	Buchholzstraße		
2001	3	HS (OE)	ST	Haldensleben	Hundisburger Straße	Wedringer Straße	Neuhaldenslebener Straße	

\* (OE) = Lage ursprünglich als Ortseinfahrtsbereich eingestuft (vgl. Kapitel 3.5.1)

Tab. 44: Minikreisverkehre der Verkehrssicherheitsuntersuchung (n = 104 K), Tabelle 3 von 4

K-ID	Anz. Zuf.	Lage*	B-Land	Ort	Straße 1	Straße 2	Straße 3	Straße 4
2002	4	ES	SN	Morgenröthe-Rautenkranz	Morgenröther Straße	Carlsfelder Straße	Bahnhofstraße	
2011	4	HS	ST	Stendal	Scharnhorststraße	Fichtestraße	Moltkestraße	
2012	4	HS	ST	Stendal	Gardelegener Straße	Dahlener Straße		
2013	4	HS	ST	Benneckenstein	Oberstadt	Töpfermarkt	Teichdamm	Straße der Einheit
2015	4	HS/ES	MV	Grabow	Prisicher Straße	Alte Straße	Willi-Fründt-Straße	

\* (OE) = Lage ursprünglich als Ortseinfahrtbereich eingestuft (vgl. Kapitel 3.5.1)

**Tab. 45:** Minikreisverkehre der Verkehrssicherheitsuntersuchung (n = 104 K), Tabelle 4 von 4



### 8.3 Dokumentation zur Erkennbarkeit/ Fußgänger- und Radverkehrs- führung/Barrierefreiheit (an 20 ausgewähltenMinikreisverkehren)

Fallbeispiel 1 (ID 1019, OE):

Stuttgart, Frauenkopfstraße/Rosengartenstraße

#### Erkennbarkeit

Die Kreisinsel ist durch das Granitpflaster und die zusätzliche Markierung gemäß Zeichen 295 StVO gut erkennbar. Die Sicht auf die einmündenden kleineren Straßen ist sehr schlecht.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Da die Seitenstraßen schwach belastet sind, spielen Fußgänger- und Radverkehrsführung hier keine Rolle, sind aber auch nicht berücksichtigt.



**Fallbeispiel 2 (ID 1046, OE):****Beverungen, Zum Spring/Birkenstraße****Erkennbarkeit**

Dieser Minikreislauf ist aufgrund seiner Lage, im Bereich der Ortseinfahrt, 2 Kurven hinter der Ortstafel, erst aus kurzer Distanz erkennbar.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Der Minikreisel ist mit Fußgängerüberwegen, aber ohne Mittelinseln ausgestattet. An den Fußgängerüberwegen sind Bordabsenkungen auf ca. 3 cm vorhanden, aber besondere Indikatoren für Sehbehinderte oder Blinde gibt es nicht.



**Fallbeispiel 3 (ID 1115, OE):****Köln, Alte Römerstraße/Hitdorfer Fährweg****Erkennbarkeit**

Dieser Minikreis liegt außerhalb eines Ortsbereiches, die zuführenden Straßen sind mit 50 km/h beschildert. Die Kreisinsel ist nicht besonders gut zu erkennen, obwohl sie ein helleres Betonpflaster hat.

**Fußgängerführung und Barrierefreiheit**

Aufgrund der Außerortslage hat dieser Minikreisverkehr keine Fußgängerüberwege, Mittelinseln oder andere Überquerungshilfen für Fußgänger. Es gibt nur im Zuge des gemeinsamen Geh-/Radwegs über die Zufahrt Alte Römerstraße eine Bordabsenkung, welche sich jedoch in einem sehr schlechten Zustand befindet.



**Fallbeispiel 4 (ID 1062, OE):****Versmold, Münsterstraße/Westheider Weg****Erkennbarkeit**

Die Erkennbarkeit des gesamten Kreisverkehrs ist durch die Vorwegweiser gegeben, in einer Richtung steht allerdings ein Baum vor dem Vorwegweiser. Die Kreisinsel selbst ist nicht gut erkennbar und in einer Relation gibt es so gut wie keine Ablenkung.

**Fußgängerführung und Barrierefreiheit**

Die Überquerungsstellen mit Mittelinseln haben eine Nullabsenkung, aber keine Bodenindikatoren, um dorthin zu führen.



**Fallbeispiel 5 (ID 1131, OE):****Beckum, Lippborger Straße/Herzfelder Straße****Erkennbarkeit**

Dieser Minikreisverkehr befindet sich kurz hinter der Ortstafel und die Kreisinsel ist schlecht erkennbar.



**Fußgängerführung und Barrierefreiheit:**

Der Minikreisverkehr hat in 2 Zufahrten Mittelinseln als Überquerungshilfen.

Die Borde sind jeweils auf 3 cm abgesenkt, aber es gibt keine Leitindikatoren zu diesen Überquerungsstellen.





**Fallbeispiel 6 (ID 1220, OE):****Nieder-Olm, Ebersheimer Straße/Weinberggring****Erkennbarkeit**

Der Minikreisverkehr ist der erste Knotenpunkt hinter der Ortseinfahrt. Er liegt aber relativ weit hinter der Ortstafel aus Richtung Mainz-Ebersheim kommend. Insgesamt liegt er in einem topografisch bewegten Gelände und die Erkennbarkeit ist vom Weinberggring-Süd sehr eingeschränkt.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Bei diesem Beispiel gibt es keinerlei Überquerungshilfen.



**Fallbeispiel 7 (ID 1224, OE):****Ockenheim, Ockenheimer Chaussee/  
Frankenstraße****Erkennbarkeit**

Der Minikreiselliegt nicht unmittelbar an der Orts-  
tafel, aber noch im Ortseinfahrtsbereich. Er ist über-  
haupt nicht zu erkennen, deshalb gibt es besondere  
Hinweisschilder speziell für den Kreisverkehr. Die  
Mitte der Kreisinsel ist eine kleinere weiße Fläche.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Es sind keinerlei Überquerungshilfen vorhanden, die Gehwege ringherum sind äußerst schmal.

Es ist zwar wenig Fußgängerverkehr zu erwarten, aber da der Kreisverkehr unmittelbar an einem Neubaugebiet liegt, ist hier auch mit Kindern zu rechnen.



**Fallbeispiel 8 (ID 2001, OE):****Haldensleben, Hundisburger Straße/  
Wedringer Straße****Erkennbarkeit**

Der Minikreisverkehr ist aufgrund der relativ großen Kreisinsel, der Nachtrefektoren und der zusätzlichen Markierung gut erkennbar.

Unmittelbar im Knotenpunktbereich befinden sich zwei weitere Anschlüsse von Erschließungsstraßen.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Die Fußgängerführung ist uneinheitlich, in einer Zufahrt ist ein kleiner markierter Fahrbahnteiler, der allerdings schon „in Auflösung“ ist, in einer anderen Zufahrt ist eine bauliche Mittelinsel. Die Radverkehrsführung ist mit „Radfahrer frei“ fakultativ angegeben, allerdings auch nicht konsequent durchgehalten.



**Fallbeispiel 9 (ID 1152, OE):****Aachen, Vetschauer Weg/Horbacher Straße****Erkennbarkeit**

Die hinter der Kreisinsel liegende Mittelinsel mit ihrem Rechts-vorbei-Fahrpfeil lenkt von der hell ausgeführten Kreisinsel eher ab (aus Richtung Horbach). An den anderen Zufahrten gibt es keine Überquerungshilfen.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Auch die Absenkungen sind unterschiedlich ausgeführt, über den Vetschauer Weg gibt es keine Absenkungen, an der Überquerungsstelle mit Mittelinsel sind Noppenplatten eingebaut und die Absenkung mit 3 cm Schrägstein ausgeführt.





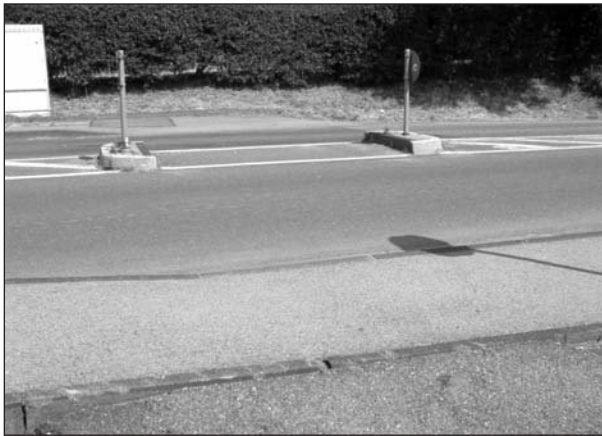
**Fallbeispiel 10 (ID 1041, OE):****Wuppertal, Mollenkotten/Barmer Straße****Erkennbarkeit**

Die Erkennbarkeit dieses Minikreisverkehrs ist sehr kritisch, aus Richtung Mollenkotten sind zwar das Kreisverkehrsschild und die Vorwegweiser erkennbar, die Kreisinsel dagegen nicht. Aus Richtung Gennebrecker Straße geht es steil den Berg hinauf, sodass man die Kreisinsel erst unmittelbar davor erkennt.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Die Überquerungshilfen für Fußgänger sind unterschiedlich ausgeführt. Zum einen gibt es Mittelinseln, bei der Zufahrt Gennebrecker Straße/ Barmer Straße ist eine weiße Fläche auf die Fahrbahn ohne Fußgängerführung aufgebracht. Die Absenkungen haben eine Höhe von ca. 3 cm, jedoch von sehr schlechter Qualität. Es gibt keine Leitindikatoren.



**Fallbeispiel 11 (ID 1321, HS/ES):****Bergisch Gladbach, Hermann-Löns-Straße/  
Buchholzstraße****Erkennbarkeit**

Die Beschilderung des Kreisverkehrs ist gut erkennbar, die Kreisinsel selbst jedoch sehr schlecht. Bei diesem Beispiel wird das Zeichen 205 auf den Mittelinseln wiederholt.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

In den Zufahrten befinden sich z. T. Mittelinseln, wobei die Mittelinsel in der Buchholzstraße wegen drei Garagenzufahrten sehr weit abgesetzt ist. Die Bordabsenkungen betragen ca. 3 cm. Auch hier sind keine Leitindikatoren vorhanden.



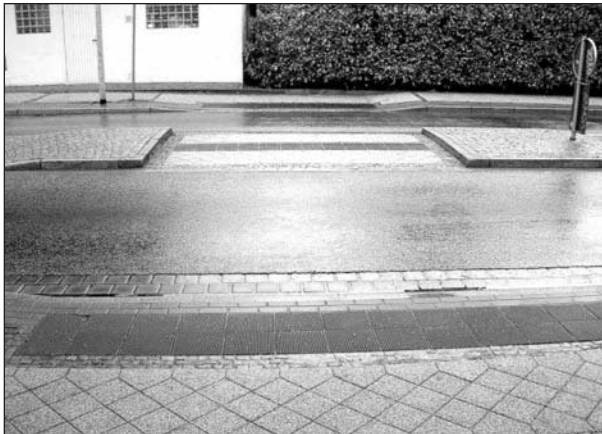
**Fallbeispiel 12 (ID 2011, HS):****Stendal, Scharnhorststraße/Fichtestraße****Erkennbarkeit**

Dieser Minikreisel ist sehr schlecht zu erkennen. Die Beschilderung steht sehr nah an der Kreisfahrbahn.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Dieser Minikreisverkehr hat nur an 2 Zufahrten eine barrierefreie Fußgängerführung. Radfahrer werden vorher auf die Fahrbahn und anschließend wieder auf den Radweg geführt.



**Fallbeispiel 13 (ID 1153, HS/ES):****Würselen, Heidestraße/Ather Straße****Erkennbarkeit**

Die Kreisinsel ist durch eingepasste reflektierende Teller gut zu erkennen. Zwei Zufahrten mit Fußgängerüberwegen und Mittelinsel geben eine weitere Orientierungshilfe.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Die Bordabsenkung ist auf 3 cm angelegt, ohne weitere Indikatoren.

Eine Mittelinsel mit Fußgängerüberwegen ist sehr weit von der Kreisinsel abgesetzt, die andere mit ca. 2 m Abstand zu nah an der Kreisfahrbahn gelegen.





**Fallbeispiel 14 (ID 1020, HS/ES):****Stuttgart, Seelbergstraße/Daimlerstraße****Erkennbarkeit**

Bei diesem Minikreislauf ist zu beachten, dass er in unmittelbarer Nachbarschaft zu einem kleinen Kreisverkehr und in einem dichten Geflecht von Innenstadtstraßen liegt. Die Erkennbarkeit wird durch die starke Fußgängerbeziehungen zum Cannstatter Carree und die dadurch entstehende niedrige Geschwindigkeit sowie durch die Ausführung in hellem Pflaster erhöht.



## Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Der Minikreisverkehr ist rundum mit Zebrastreifen ausgerüstet, sowie mit einem vollständigen System von Leitindikatoren.



**Fallbeispiel 15 (ID 1282, HS/ES):****Langerwehe, Schönthaler Straße/  
Bahnhofstraße****Erkennbarkeit**

Im Umkreis dieses Minikreisverkehrs existieren einige andere Minikreisverkehre. Dieser ist nicht sehr gut zu erkennen und ist mit etlichen Zusatzmaßnahmen versehen worden. In einer Zufahrt (Bahnhofstraße) ist ein Stoppschild angebracht mit einem davor liegenden Versatz mit Baken.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Der Minikreislauf ist rundum mit aufgetragenen Fertigteil-Mittelinseln versehen und rundum auch mit Fußgängerüberwegen. Er ist an den meisten Zugängen mit Bordabsenkungen auf null ausgestattet worden, welche jedoch für Rollstuhlfahrer oder mit einem Rollator schwer zu befahren sind.



**Fallbeispiel 16 (ID 1005, HS/ES):****Hürth, Max-Planck-Straße/  
Kalscheurener Straße****Erkennbarkeit**

Die Kreisinsel ist im Straßenverlauf im Gegensatz zu den Fußgängerüberwegen kaum erkennbar und die Außenmarkierung ist an einigen Stellen schon sehr abgefahren.

Die Beschilderung gemäß Zeichen 215 StVO mit Kreisverkehr ist durch Bäume verdeckt.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Der Minikreisverkehr ist an allen Zufahrten mit Fußgängerüberwegen ausgestattet, welche jedoch alle unterschiedlich ausgeführt sind (mit Mittelinsel, ohne Mittelinsel, mit rot eingefärbter Furt für Radfahrer). An allen Überquerungsstellen sind Absenkungen auf ca. 3 cm vorhanden.



**Fallbeispiel 17 (ID 1315, ES):****Düsseldorf, Mettmanner Straße/Langerstraße****Erkennbarkeit**

Die Kreisverkehrszeichen (Zeichen 215 StVO) sind am Rand der Kreisfahrbahn angebracht, werden aber durch Bäume bzw. Beschilderung des Fußgängerüberwegs verdeckt. Dadurch wird die Erkennbarkeit dieses Minikreisverkehrs eingeschränkt, auch wenn die Kreisinsel in einem helleren Betonstein ausgeführt ist.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

An allen Zufahrten sind Fußgängerüberwege als Überquerungshilfen vorhanden, jedoch ohne Mittelinseln. Die Borde sind auf 3 cm abgesenkt und mit einer Reihe von Noppensteinen versehen. Eine besondere Hinführung zu diesen Stellen gibt es allerdings nicht.





**Fallbeispiel 18 (ID 1289, HS/ES):****Kall, Aachener Straße/Bahnhofstraße****Erkennbarkeit**

Der Minikreisverkehr ist kaum zu erkennen. Aus Richtung Bahnhofstraße ergibt sich eine gerade Durchfahrt, da die Kreisinsel sehr weit rechts liegt.

Die Kreisverkehrsbeschilderung ist ebenfalls schlecht zu erkennen, da diese unmittelbar vor der Kreisfahrbahnbegrenzung aufgestellt und durch die FGÜ-Beschilderung verdeckt wird.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Die Gehwege sind an den Überquerungsstellen mit Nullabsenkungen (Rillenplatten) versehen, wobei die Gehwege selbst so schmal sind, dass Rollstuhlfahrer Probleme haben könnten, diese zu nutzen.



**Fallbeispiel 19 (ID 1230, ES):****Tönisvorst, Schulstraße/Ringstraße****Erkennbarkeit**

Der Minikreisel liegt direkt hinter einer Kurve (aus Richtung Ringstraße) und ist daher schlecht erkennbar. Die Abmessungen sind sehr klein. Die Erkennbarkeit der Kreisinsel ist durch das Aufbringen von Nägeln ringsherum unterstützt worden.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

In allen Zufahrten verfügt der Minikreisverkehr über Fußgängerüberwege, z. T. mit Mittelinseln.

Die Bordabsenkungen sind mit etwa 3 cm ausgeführt worden, ein Indikatorensystem ist nicht vorhanden.



**Fallbeispiel 20 (ID 1269, ES):****Karlsruhe, Ludwig-Wilhelm-Straße/  
Georg-Friedrich-Straße****Erkennbarkeit**

Diese Minikreisverkehrsanlage ist sehr kompakt, mit relativ viel Radverkehr. Die Erkennbarkeit durch das kontrastierende Material der Kreisinsel ist gut.



### Fußgängerführung und Barrierefreiheit

Dieser Kreisverkehr verfügt über Fußgängerüberwege als Überquerungshilfen in allen vier Zufahrten.

Die Seitenräume sind auf null abgesenkt, Leitindikatoren sind nicht vorhanden.



## 8.4 Unfalldiagramme zu den 10 unsichersten Minikreisverkehren

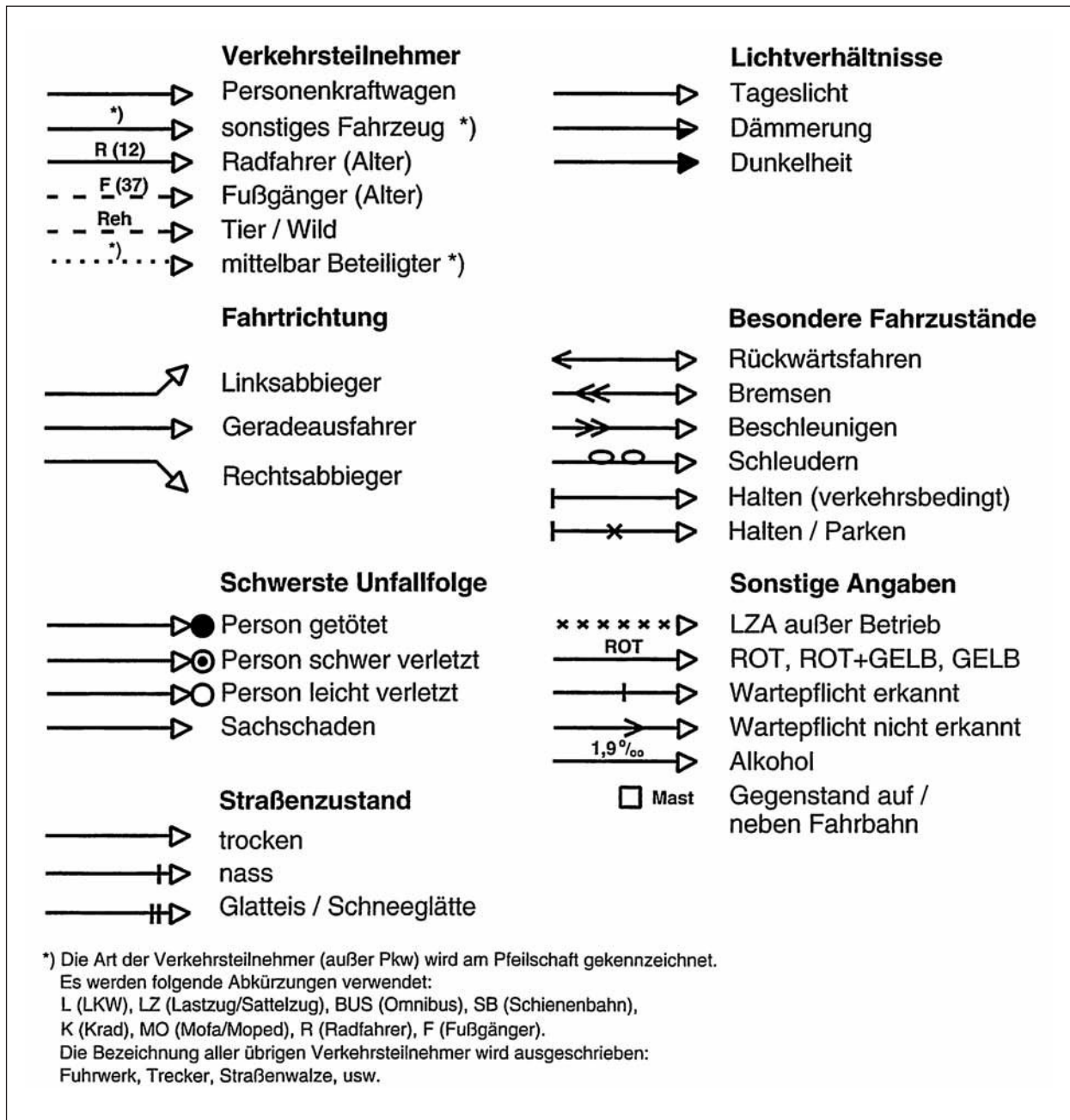
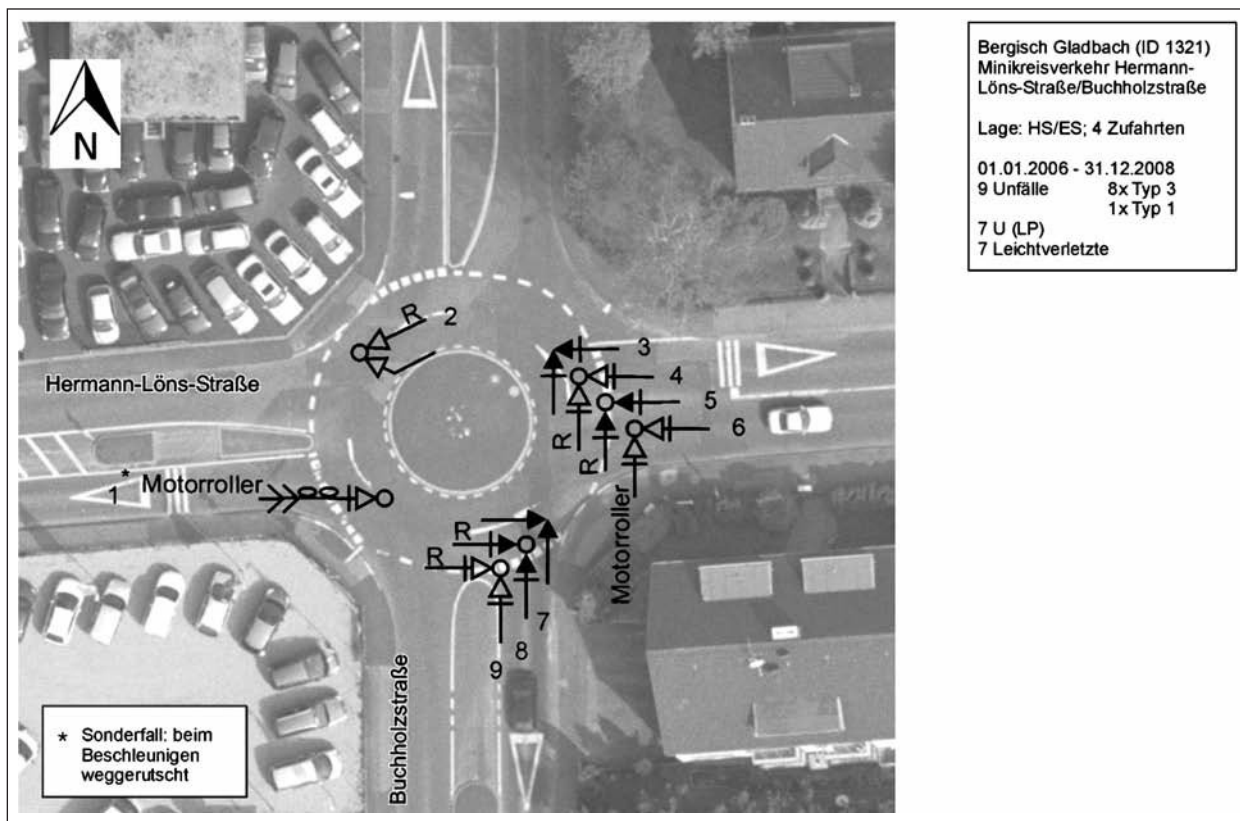
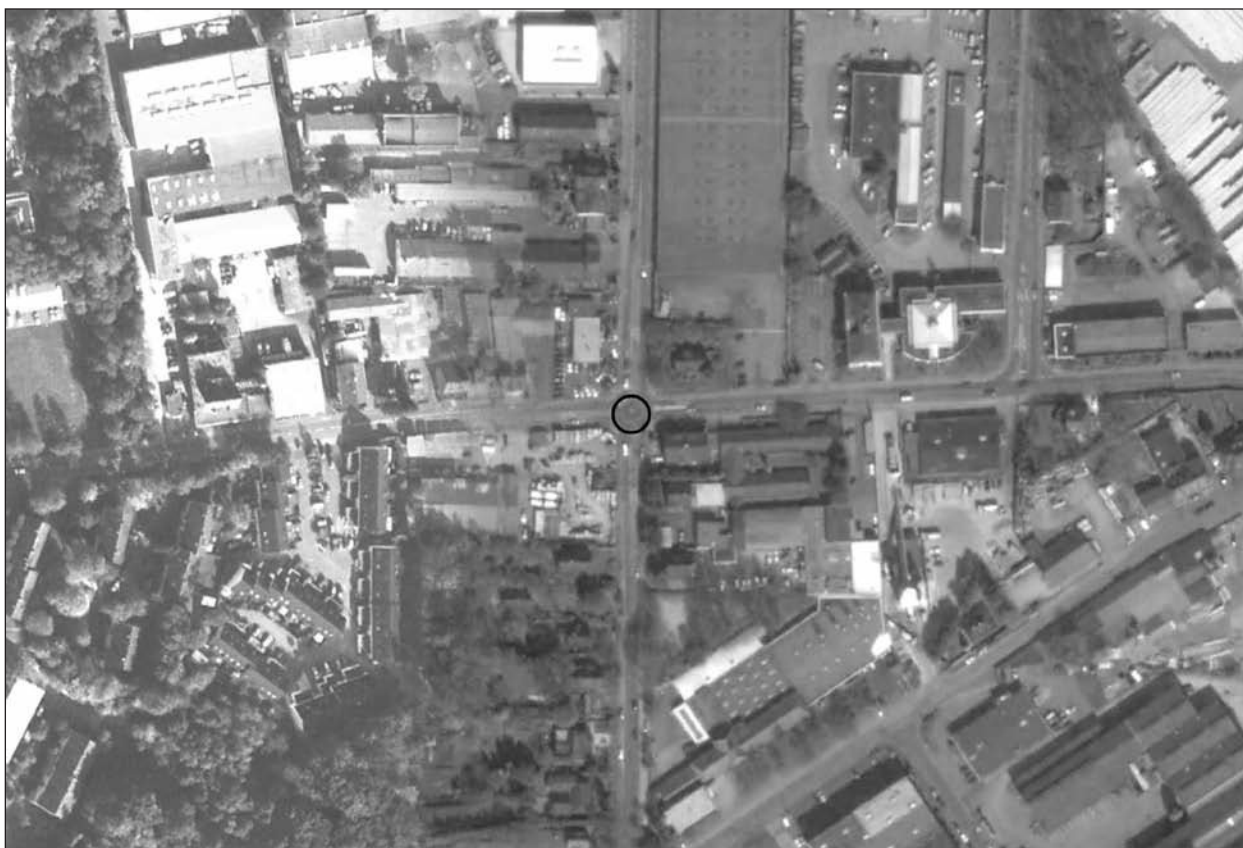


Bild 137: Signaturen im Unfalldiagramm (Quelle: Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1, Ausgabe 2003)



**Bild 138:** Unfalldiagramm 1: Minikreisverkehr in Bergisch Gladbach, Hermann-Löns-Straße/Buchholzstraße (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (ID 1321)



**Bild 139:** Lage des Minikreisverkehrs in Bergisch Gladbach (ID 1321) im städtischen Gefüge (Quelle: Google Earth Pro)



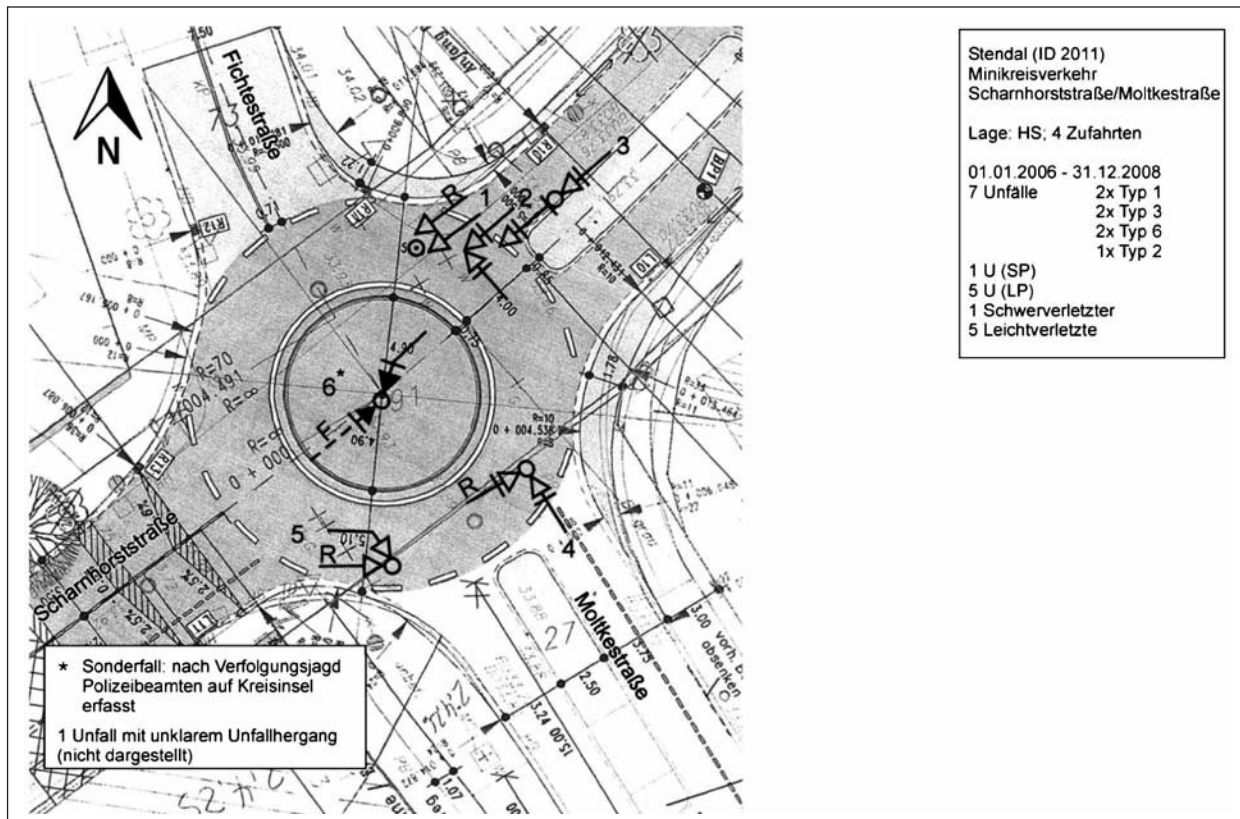
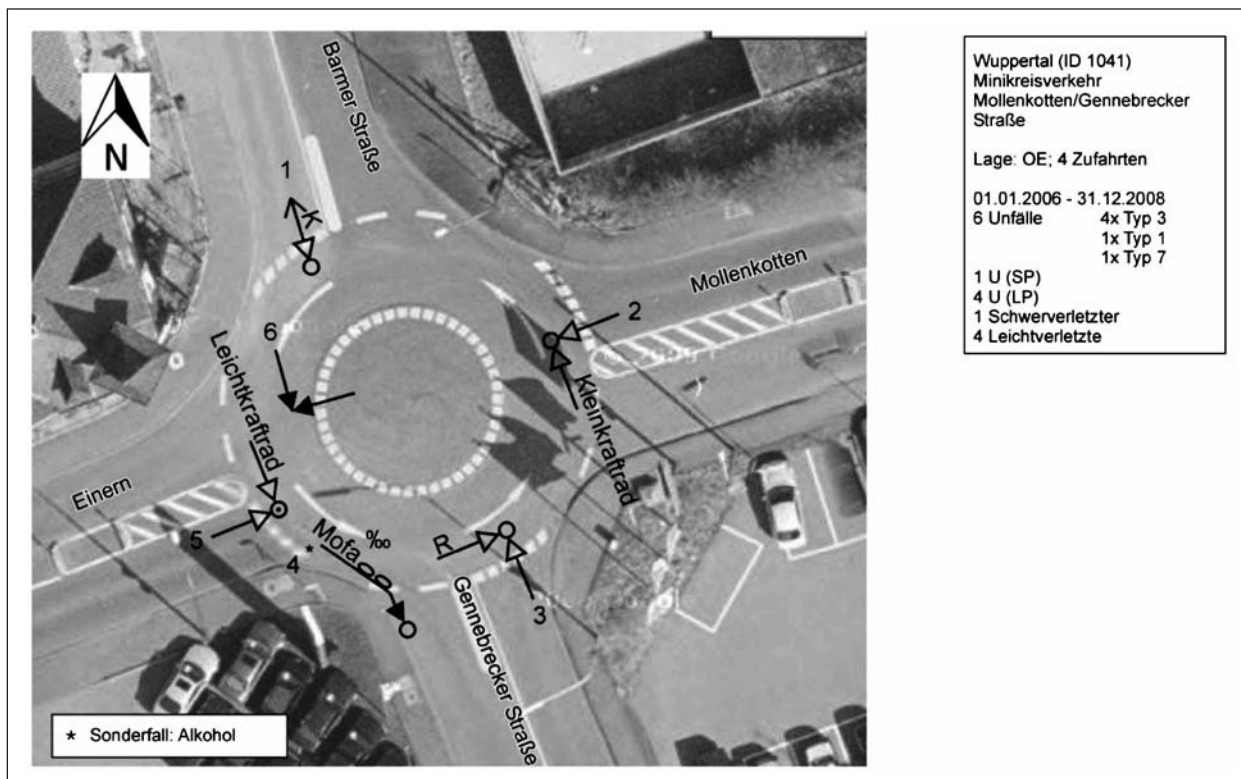


Bild 140: Unfalldiagramm 2: Minikreisverkehr in Stendal, Scharnhorststraße/Moltkestraße (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (ID 2011)



Bild 141: Lage des Minikreisverkehrs in Stendal (ID 2011) im städtischen Gefüge (Quelle: Google Earth Pro)



**Bild 142:** Unfalldiagramm 3: Minikreisverkehr in Wuppertal, Mollenkotten/Gennebrecker Straße (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (ID 1041)



**Bild 143:** Lage des Minikreisverkehrs in Wuppertal (ID 1041) im städtischen Gefüge (Quelle: Google Earth Pro)

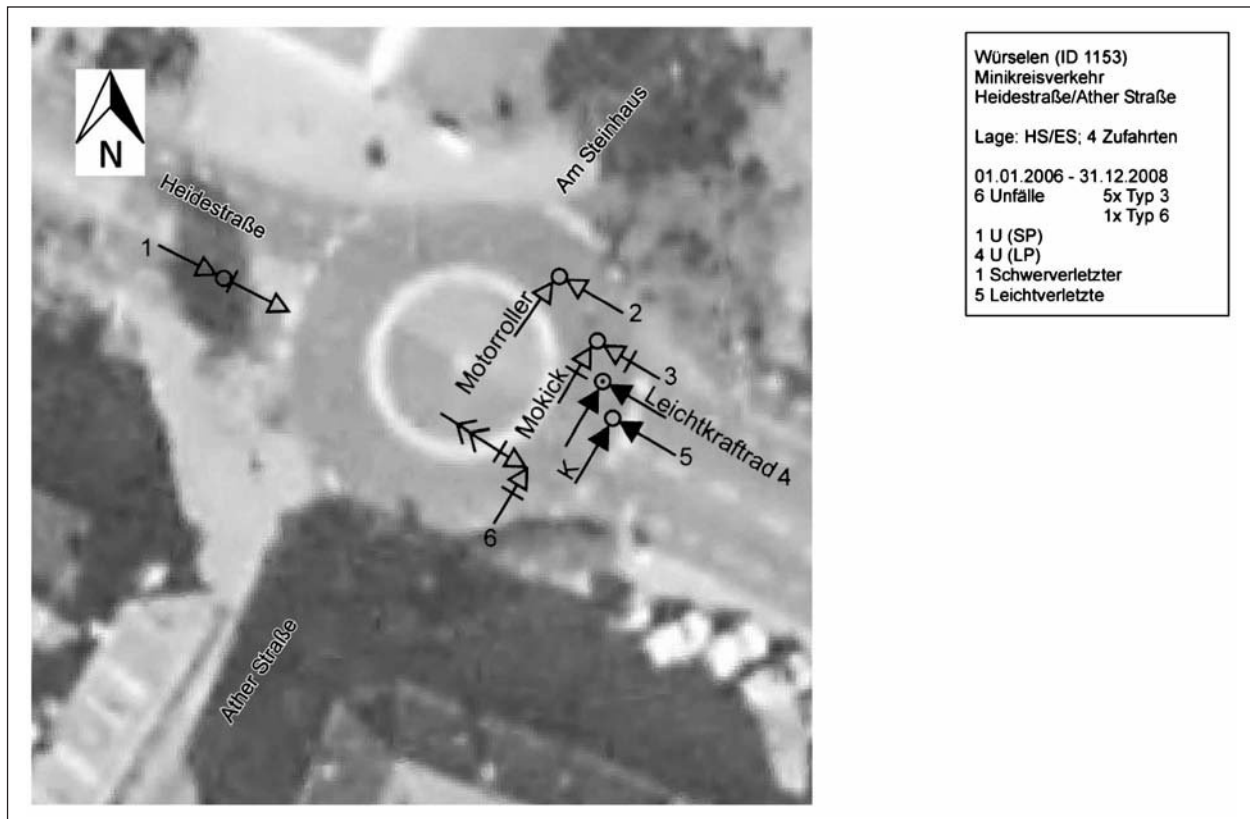


Bild 144: Unfalldiagramm 4: Minikreisverkehr in Würselen, Heidestraße/Ather Straße (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (ID 1153)



Bild 145: Lage des Minikreisverkehrs in Würselen (ID 1153) im städtischen Gefüge (Quelle: Google Earth Pro)

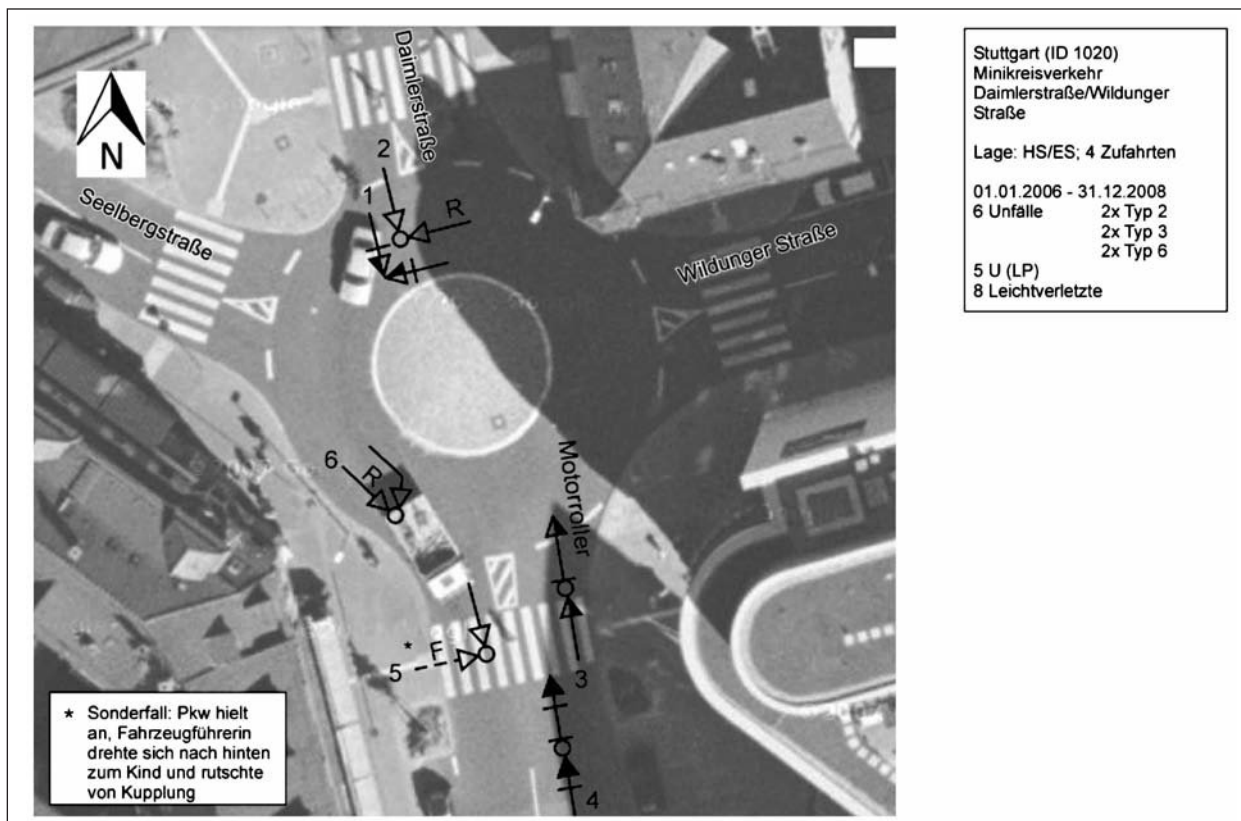


Bild 146: Unfalldiagramm 5: Minikreisverkehr in Stuttgart, Daimlerstraße/Wildunger Straße (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (ID 1020)

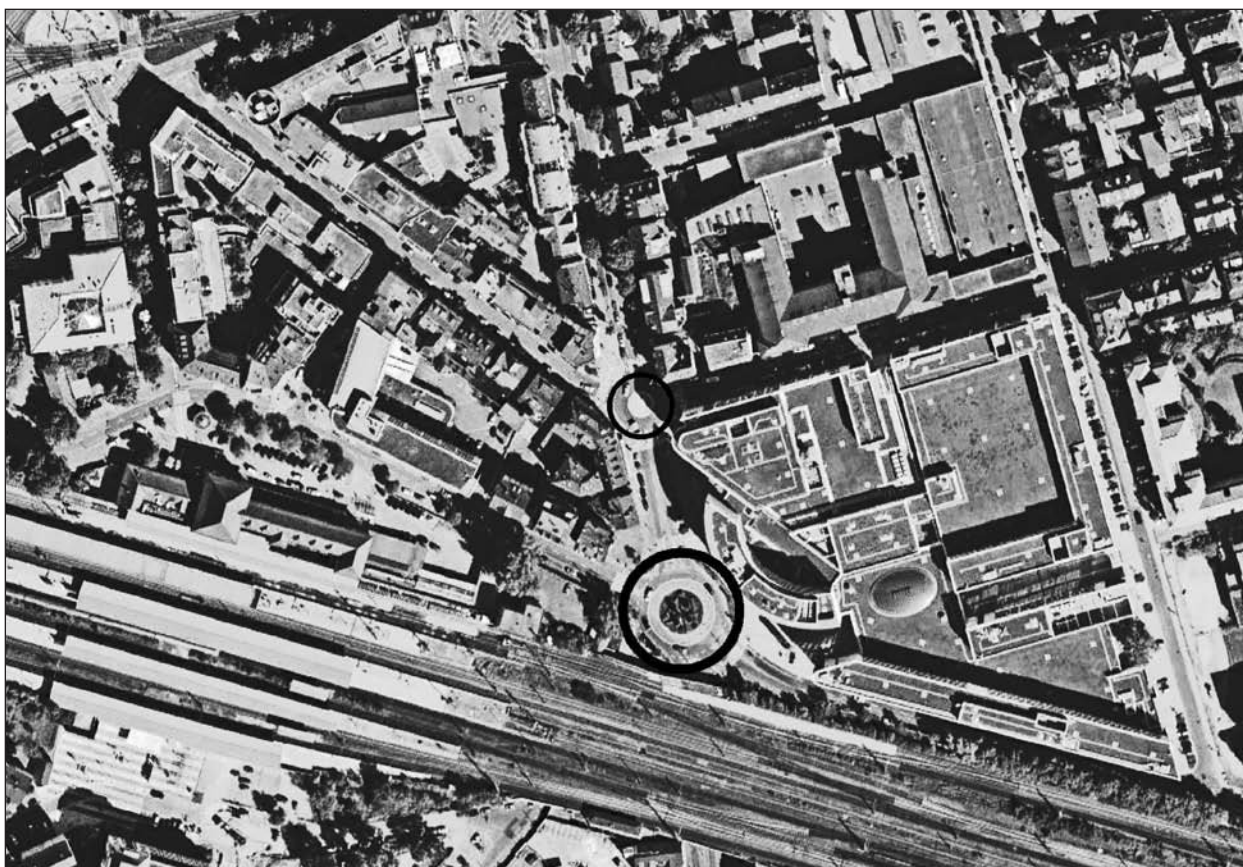


Bild 147: Lage des Minikreisverkehrs in Stuttgart (ID 1020) im städtischen Gefüge (Quelle: Google Earth Pro)

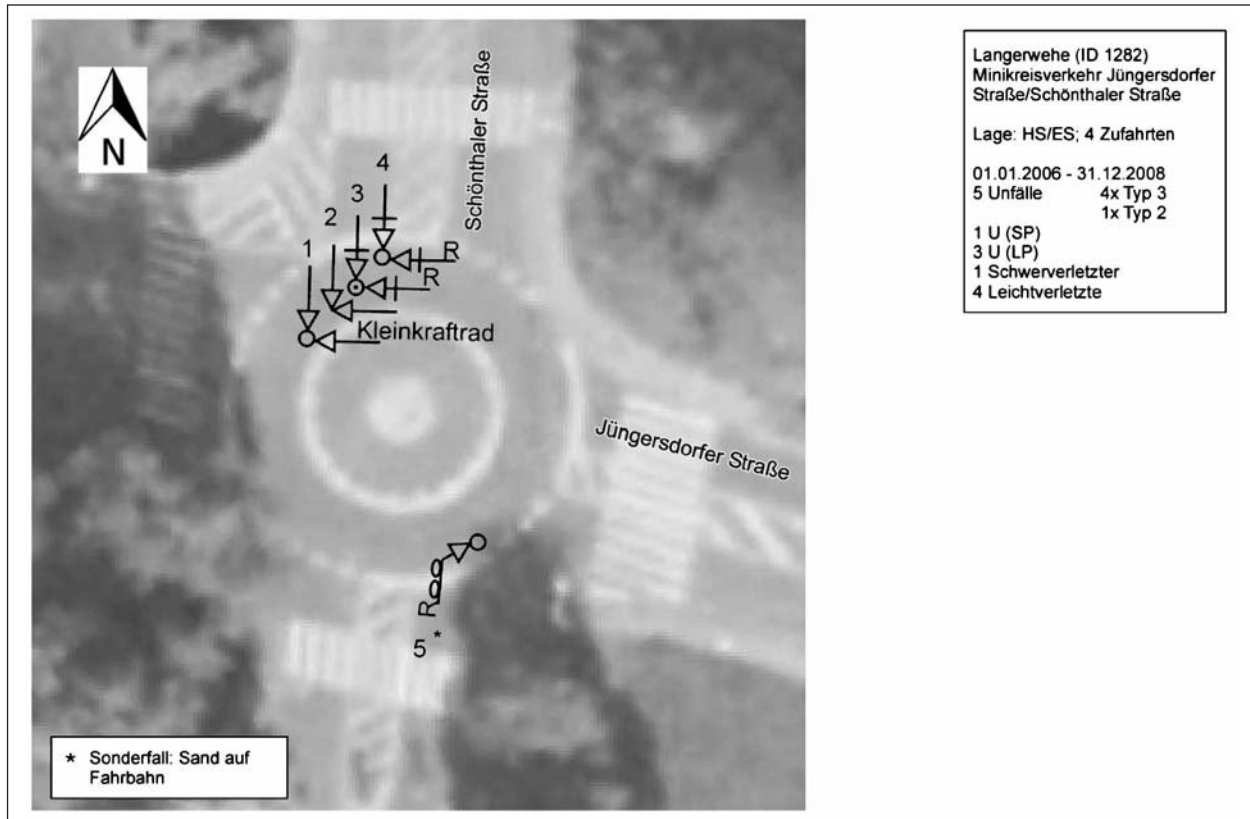


Bild 148: Unfalldiagramm 6: Minikreisverkehr in Langerwehe, Jüngersdorfer Straße/Schönthaler Straße (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (ID 1282)

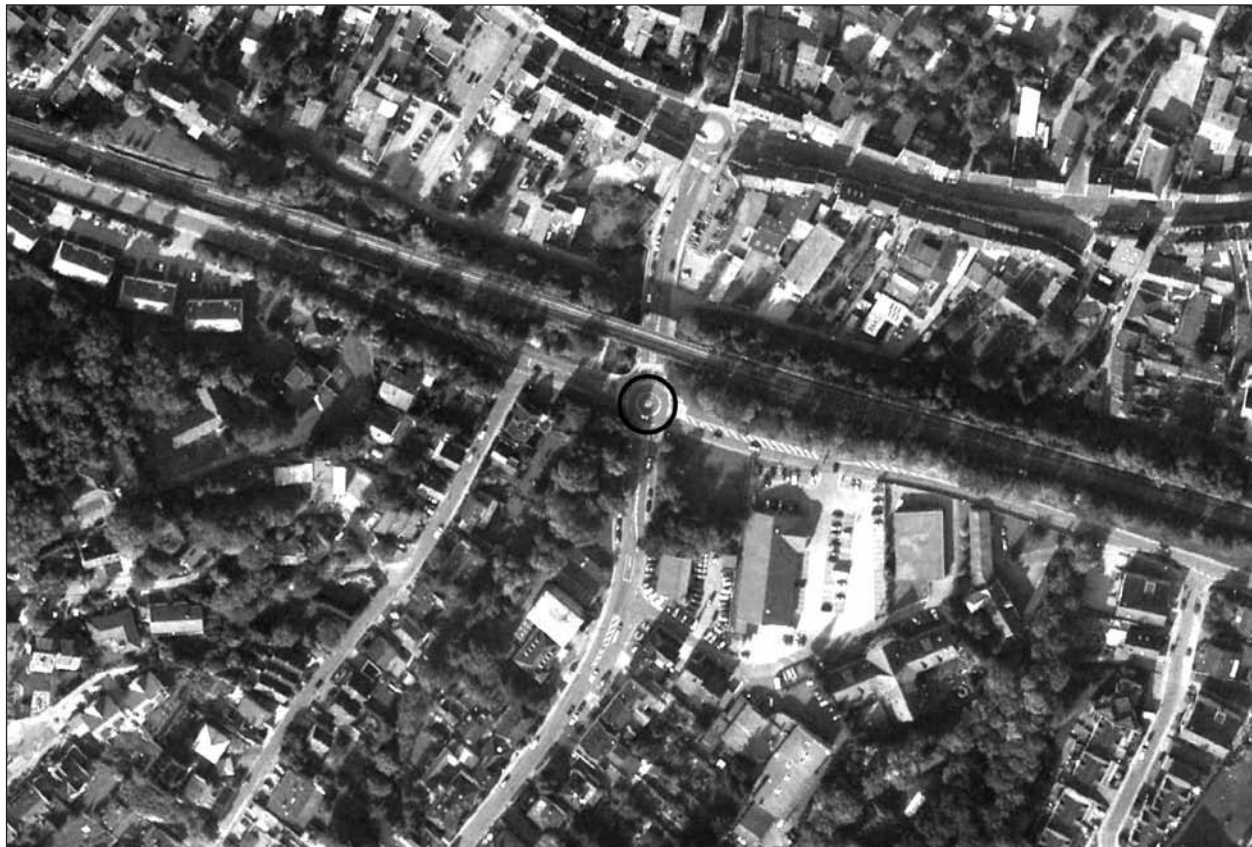
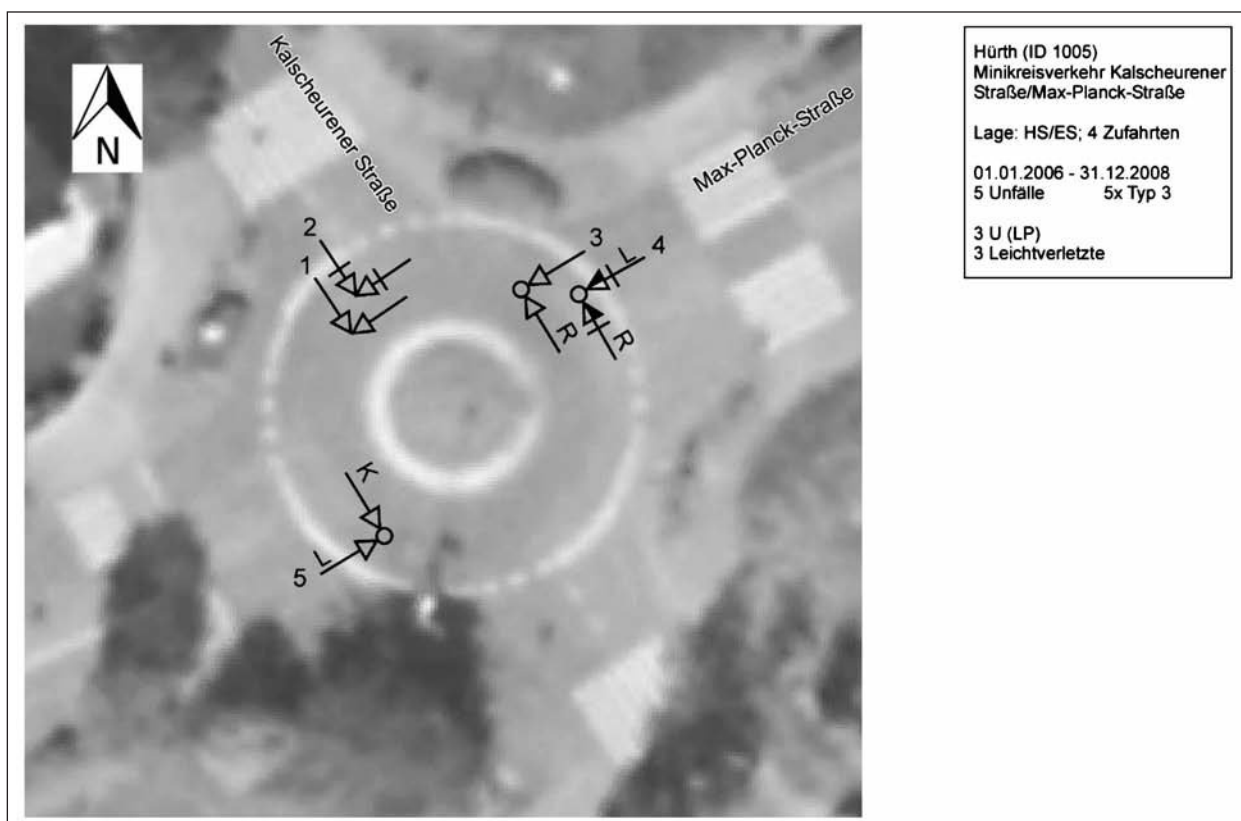


Bild 149: Lage des Minikreisverkehrs in Langerwehe (ID 1282) im städtischen Gefüge (Quelle: Google Earth Pro)



**Bild 150:** Unfalldiagramm 7: Minikreisverkehr in Hürth, Kalscheurener Straße/Max-Planck-Straße (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (ID 1005)



**Bild 151:** Lage des Minikreisverkehrs in Hürth (ID 1005) im städtischen Gefüge (Quelle: Google Earth Pro)

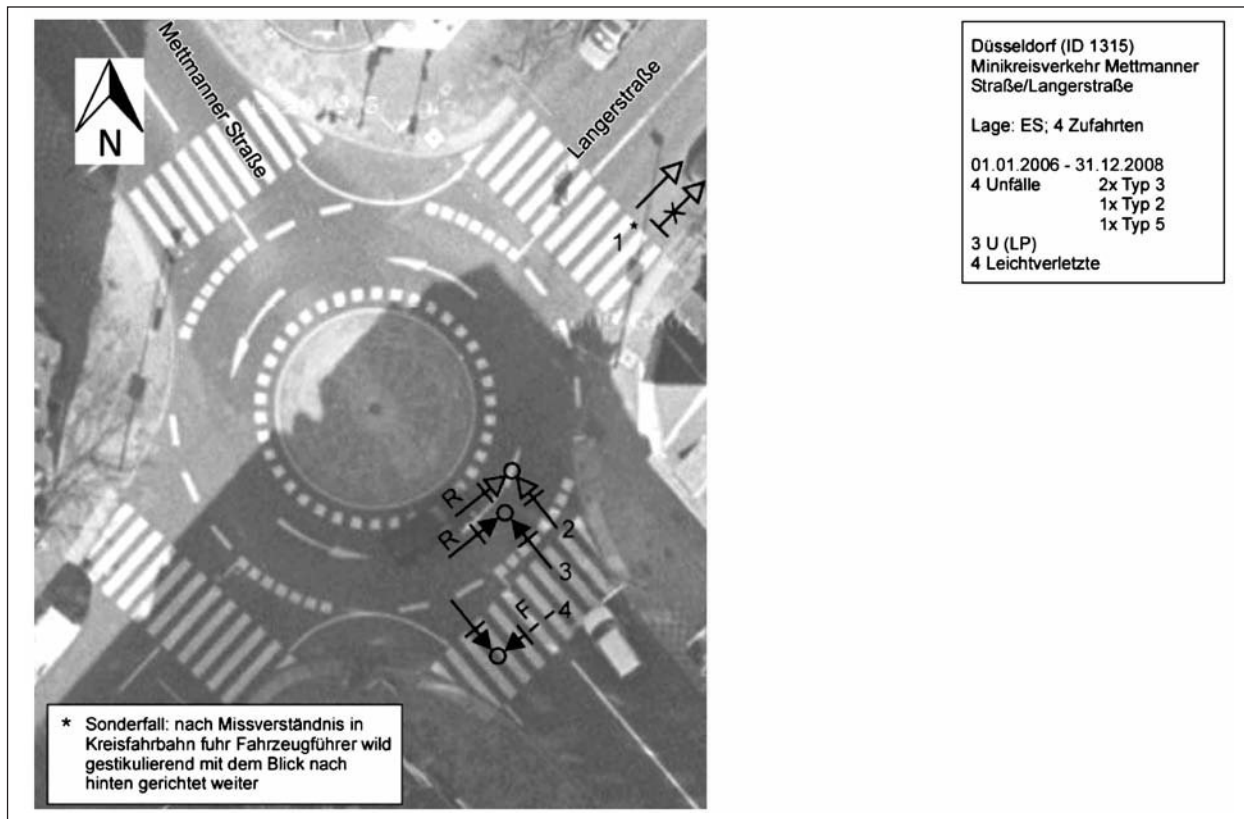


Bild 152: Unfalldiagramm 8: Minikreisverkehr in Düsseldorf, Mettmanner Straße/Langerstraße (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (ID 1315)

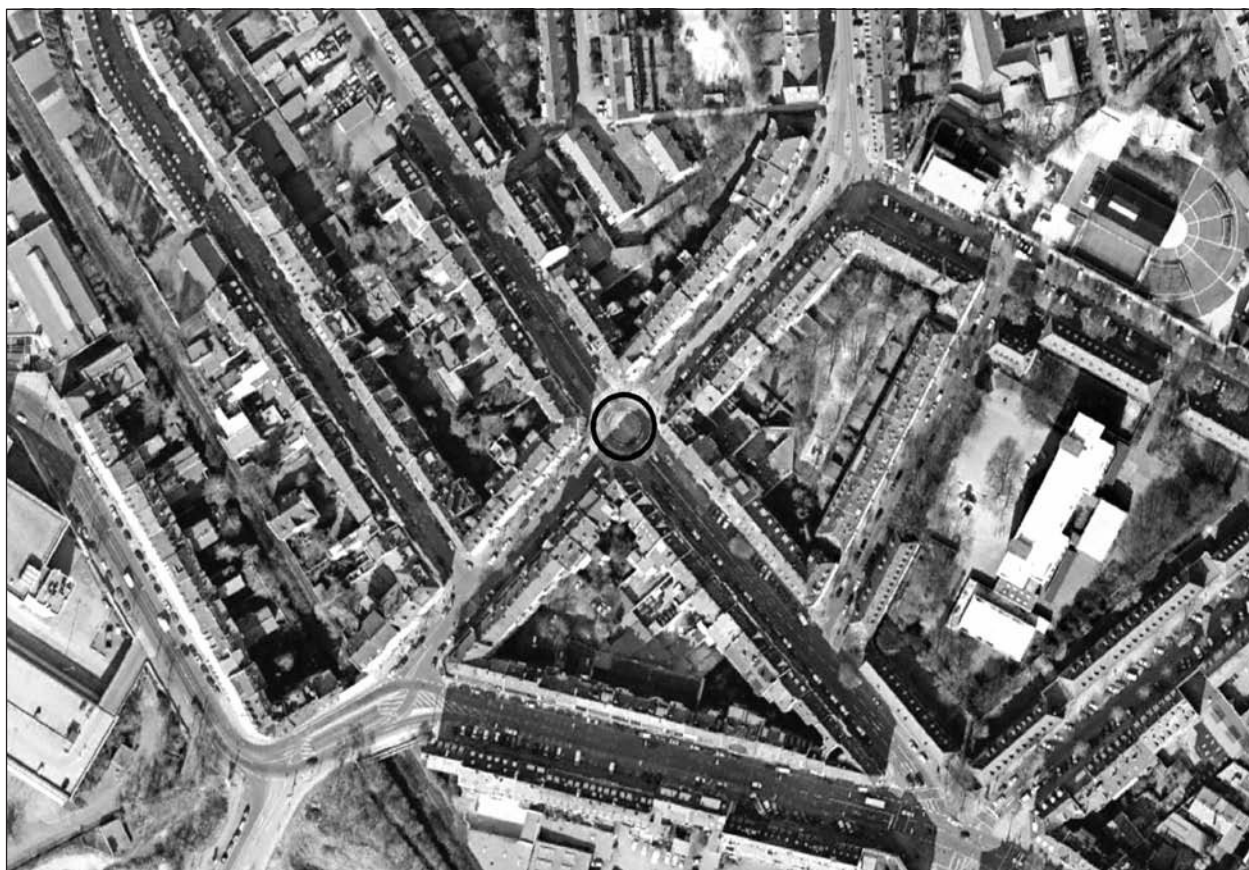


Bild 153: Lage des Minikreisverkehrs in Düsseldorf (ID 1315) im städtischen Gefüge (Quelle: Google Earth Pro)

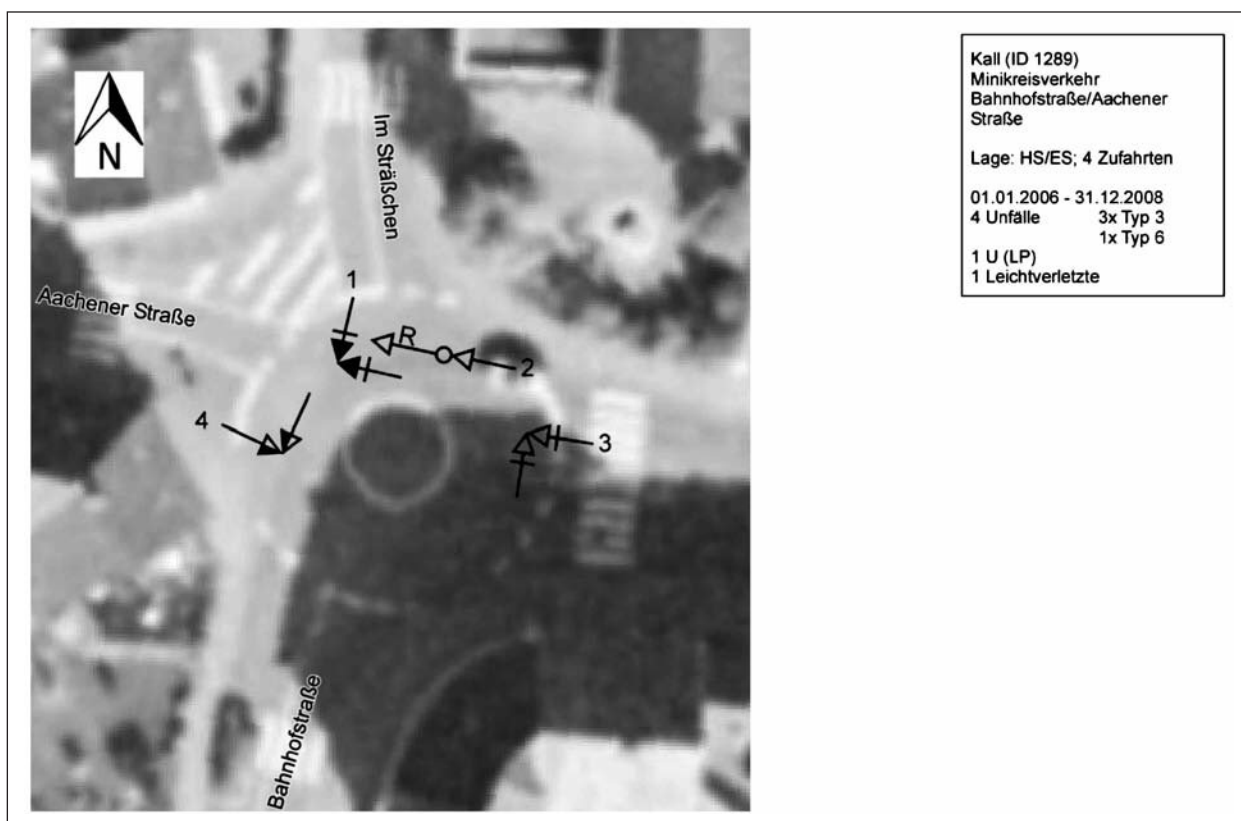


Bild 154: Unfalldiagramm 9: Minikreisverkehr in Kall, Bahnhofstraße/Aachener Straße (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (ID 1289)



Bild 155: Lage des Minikreisverkehrs in Kall (ID 1289) im städtischen Gefüge (Quelle: Google Earth Pro)



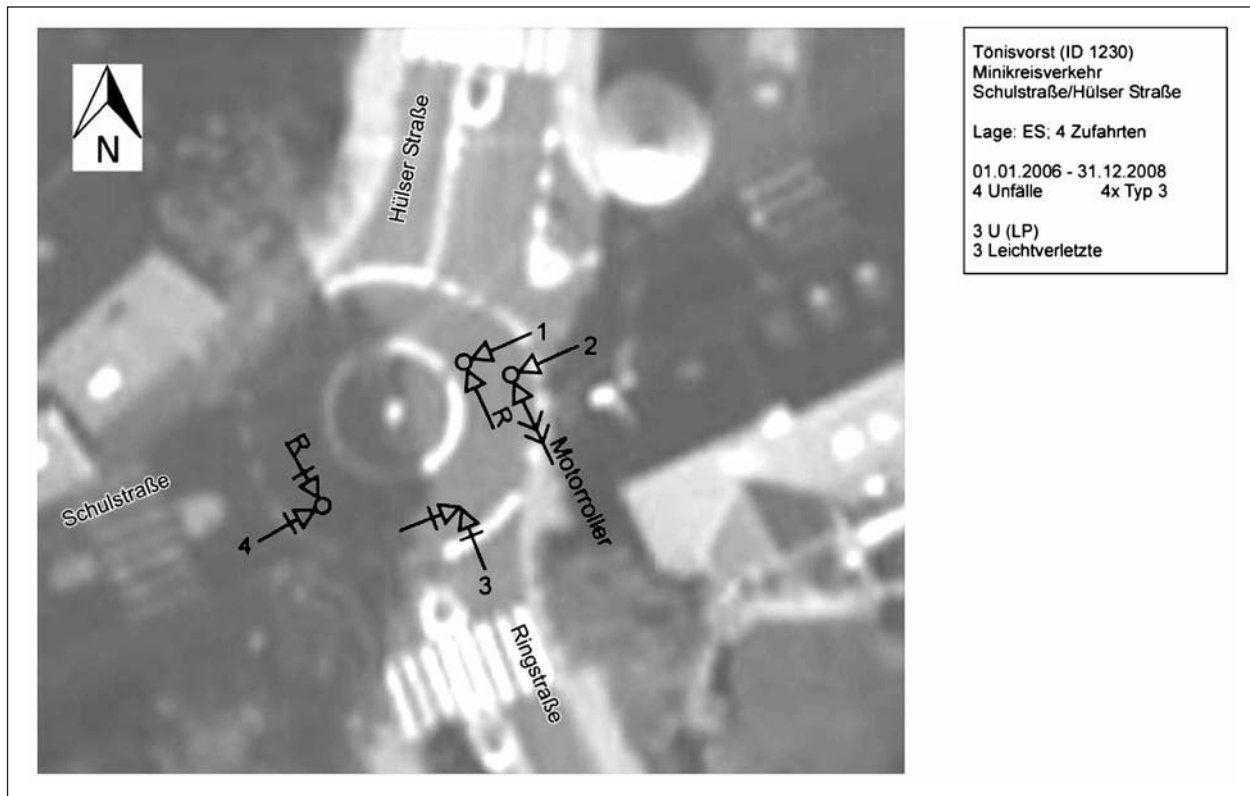


Bild 156: Unfalldiagramm 10: Minikreisverkehr in Tönisvorst, Schulstraße/Hülser Straße (3 Jahre, Unfallkategorien 1-4) (ID 1230)



Bild 157: Lage des Minikreisverkehrs in Tönisvorst (ID 1230) im städtischen Gefüge (Quelle: Google Earth Pro)

## 8.5 Kennwerte der Verkehrssicherheit

### Unfallkennwerte differenziert nach Lage und Anzahl der Knotenpunkte

Lage: Knotenpunkt im	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
HS-Netz	68 (30)	110	11,94	-
ES-Netz	36 (18)	37	5,66	-
Gesamt	104 (48)	147	9,76	-

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

Tab. 46: Minikreisverkehre (mit und ohne DTV) nach Lage mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Lage: Knotenpunkt im	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
HS-Netz	61 (25)	95	11,73	3,81
ES-Netz	22 (10)	27	7,68	3,67
Gesamt	83 (35)	122	10,65	3,78

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

Tab. 47: Minikreisverkehre (mit DTV) nach Lage mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Lage: Knotenpunkt im	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
HS-Netz	25 (16)	19	6,51	-
ES-Netz	8 (6)	2	0,83	-
Gesamt	33 (22)	21	5,14	-

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

Tab. 48: 3-armige Minikreisverkehre (mit und ohne DTV) nach Lage mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Lage: Knotenpunkt im	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
HS-Netz	23 (14)	19	7,08	1,96
ES-Netz	5 (3)	2	1,33	1,32
Gesamt	28 (17)	21	6,05	1,92

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

Tab. 49: 3-armige Minikreisverkehre (mit DTV) nach Lage mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Lage: Knotenpunkt im	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
HS-Netz	43 (14)	91	15,09	-
ES-Netz	28 (12)	35	7,04	-
Gesamt	71 (26)	126	11,91	-

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

Tab. 50: 4-armige Minikreisverkehre (mit und ohne DTV) nach Lage mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Lage: Knotenpunkt im	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
HS-Netz	38 (11)	76	14,54	5,28
ES-Netz	17 (7)	25	9,55	3,96
Gesamt	55 (18)	101	13,00	4,91

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

Tab. 51: 4-armige Minikreisverkehre (mit DTV) nach Lage mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

### Unfallkennwerte differenziert nach Überquerungshilfen

Fahrbahnteiler = nur markiert oder baulich mit und ohne Bord

Anzahl FGÜ	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
keine	20 (6)	32	14,00	-
in einigen Zufahrten	2 (1)	2	4,17	-
in allen Zufahrten	7 (1)	17	15,10	-
Gesamt	29 (8)	51	13,59	-

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

Tab. 52: Minikreisverkehre (mit und ohne DTV) mit Fahrbahnteiler in allen Zufahrten nach Fußgängerüberwegen mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Anzahl FGÜ	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
keine	18 (5)	31	15,35	4,65
in einigen Zufahrten	2 (1)	2	4,17	1,11
in allen Zufahrten	7 (1)	17	15,10	6,27
Gesamt	27 (7)	50	14,46	4,66

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

Tab. 53: Minikreisverkehre (mit DTV) mit Fahrbahnteiler in allen Zufahrten nach Fußgängerüberwegen mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Anzahl FGÜ	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
keine	28 (22)	11	4,44	-
in einigen Zufahrten	5 (2)	5	4,00	-
in allen Zufahrten	8 (2)	17	13,29	-
Gesamt	41 (26)	33	6,11	-

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

Tab. 54: Minikreisverkehre (mit und ohne DTV) ohne Fahrbahnteiler nach Fußgängerüberwegen mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Anzahl FGÜ	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
keine	19 (13)	11	6,54	4,36
in einigen Zufahrten	4 (2)	4	4,17	0,83
in allen Zufahrten	7 (2)	15	14,24	5,25
Gesamt	30 (17)	30	8,02	3,57
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 55:** Minikreisverkehre (mit DTV) ohne Fahrbahnteiler nach Fußgängerüberwegen mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Anzahl FGÜ	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
keine	25 (11)	44	10,21	-
in einigen Zufahrten	5 (3)	4	12,40	-
in allen Zufahrten	4 (0)	15	13,33	-
Gesamt	34 (14)	63	10,90	-
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 56:** Minikreisverkehre (mit und ohne DTV) mit Fahrbahnteiler in einigen Zufahrten nach Fußgängerüberwegen mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Anzahl FGÜ	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
keine	18 (8)	27	8,43	2,65
in einigen Zufahrten	5 (3)	4	12,40	3,38
in allen Zufahrten	3 (0)	11	13,22	5,72
Gesamt	26 (11)	42	9,74	3,07
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 57:** Minikreisverkehre (mit DTV) mit Fahrbahnteiler in einigen Zufahrten nach Fußgängerüberwegen mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
Gesamt	4 (1)	5	5,04	-
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 58:** Minikreisverkehre (mit und ohne DTV) mit baulichem Fahrbahnteiler (mit Bord) und Fußgängerüberwegen in allen Zufahrten mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
Gesamt	4 (1)	5	5,04	2,28
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 58:** Minikreisverkehre (mit DTV) mit baulichem Fahrbahnteiler (mit Bord) und Fußgängerüberwegen in allen Zufahrten mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

### Unfallkennwerte differenziert nach Verkehrsstärke

DTV	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
≤ 6.000	41 (22)	44	5,97	4,43
> 6.000 - ≤ 12.000	24 (8)	36	12,58	4,15
> 12.000	18 (5)	42	18,77	3,19
> 12.000 - ≤ 15.000	8 (1)	21	26,15	5,00
> 15.000	10 (4)	21	12,87	2,01
Gesamt	83 (35)	122	10,65	3,78
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 60:** Minikreisverkehre (mit DTV) nach Verkehrsstärke mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

DTV	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
≤ 6.000	12 (9)	4	1,22	1,09
> 6.000 - ≤ 12.000	6 (4)	3	2,03	0,72
> 12.000	10 (4)	14	14,27	2,47
> 12.000 - ≤ 15.000	5 (1)	10	25,27	4,74
> 15.000	5 (3)	4	3,27	0,53
Gesamt	28 (17)	21	6,05	1,92
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 61:** 3-armige Minikreisverkehre (mit DTV) nach Verkehrsstärke mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

DTV	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
≤ 6.000	29 (13)	40	7,93	5,51
> 6.000 - ≤ 12.000	18 (4)	33	16,09	5,19
> 12.000	8 (1)	28	24,40	4,06
> 12.000 - ≤ 15.000	3 (0)	11	27,61	5,44
> 15.000	5 (1)	17	22,47	3,42
Gesamt	55 (18)	101	13,00	4,91
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 62:** 4-armige Minikreisverkehre (mit DTV) nach Verkehrsstärke mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

DTV	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
≤ 6.000	8 (7)	2	1,00	0,73
> 6.000 - ≤ 12.000	5 (3)	3	2,43	0,84
> 12.000	10 (4)	14	14,27	2,47
> 12.000 - ≤ 15.000	5 (1)	10	25,27	4,74
> 15.000	5 (3)	4	3,27	0,53
Gesamt	23 (14)	19	7,08	1,96

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 63:** 3-armige Minikreisverkehre im Hauptverkehrsstraßennetz (mit DTV) nach Verkehrsstärke mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

DTV	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
≤ 6.000	4 (2)	2	1,67	2,61
> 6.000 - ≤ 12.000	1 (1)	0	0,00	0,00
> 12.000	-	-	-	-
> 12.000 - ≤ 15.000	-	-	-	-
> 15.000	-	-	-	-
Gesamt	5 (3)	2	1,33	1,32

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 64:** 3-armige Minikreisverkehre im Erschließungsstraßennetz (mit DTV) nach Verkehrsstärke mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

DTV	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
≤ 6.000	20 (8)	31	9,93	7,24
> 6.000 - ≤ 12.000	10 (2)	17	15,87	5,44
> 12.000	8 (1)	28	24,40	4,06
> 12.000 - ≤ 15.000	3 (0)	11	27,61	5,44
> 15.000	5 (1)	17	22,47	3,42
Gesamt	38 (11)	76	14,54	5,28

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 65:** 4-armige Minikreisverkehre im Hauptverkehrsstraßennetz (mit DTV) nach Verkehrsstärke mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

DTV	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
≤ 6.000	9 (5)	9	3,48	2,19
> 6.000 - ≤ 12.000	8 (2)	16	16,38	4,91
> 12.000	-	-	-	-
> 12.000 - ≤ 15.000	-	-	-	-
> 15.000	-	-	-	-
Gesamt	17 (7)	25	9,55	3,96

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 66:** 4-armige Minikreisverkehre im Erschließungsstraßennetz (mit DTV) nach Verkehrsstärke mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

### Unfallkennwerte differenziert nach Außendurchmesser

Außendurchmesser	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
≥ 13 m - ≤ 18 m	45 (21)	56	8,31	3,55
> 18 m - ≤ 22 m	38 (14)	66	13,43	3,97
Gesamt	83 (35)	122	10,65	3,78

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 67:** Minikreisverkehre (mit DTV) nach Außendurchmesser mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Außendurchmesser	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
≥ 13 m - ≤ 18 m	17 (11)	10	2,25	0,89
> 18 m - ≤ 22 m	11 (6)	11	11,92	2,90
Gesamt	28 (17)	21	6,05	1,92

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 68:** 3-armige Minikreisverkehre (mit DTV) nach Außendurchmesser mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Außendurchmesser	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
≥ 13 m - ≤ 18 m	28 (10)	46	11,99	5,37
> 18 m - ≤ 22 m	27 (8)	55	14,04	4,56
Gesamt	55 (18)	101	13,00	4,91

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 69:** 4-armige Minikreisverkehre (mit DTV) nach Außendurchmesser mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Außendurchmesser	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/1.000 Kfz]
≥ 13 m - ≤ 18 m	12 (8)	8	2,64	0,84
> 18 m - ≤ 22 m	11 (6)	11	11,92	2,90
Gesamt	23 (14)	19	7,08	1,96

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 70:** 3-armige Minikreisverkehre im HS-Netz (mit DTV) nach Außendurchmesser mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Außen- durchmesser	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
≥ 13 m - ≤ 18 m	5 (3)	2	1,33	1,32
> 18 m - ≤ 22 m	-	-	-	-
Gesamt	5 (3)	2	1,33	1,32

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 71:** 3-armige Minikreisverkehre im ES-Netz (mit DTV) nach Außendurchmesser mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Außen- durchmesser	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
≥ 13 m - ≤ 18 m	16 (4)	31	15,36	7,09
> 18 m - ≤ 22 m	22 (7)	45	13,94	4,38
Gesamt	38 (11)	76	14,54	5,28

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 72:** 4-armige Minikreisverkehre im HS-Netz (mit DTV) nach Außendurchmesser mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Außen- durchmesser	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
≥ 13 m - ≤ 18 m	12 (6)	15	7,50	3,24
> 18 m - ≤ 22 m	5 (1)	10	14,47	5,49
Gesamt	17 (7)	25	9,55	3,96

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 73:** 4-armige Minikreisverkehre im ES-Netz (mit DTV) nach Außendurchmesser mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

### Unfallkennwerte differenziert nach Ausführung der Kreisinsel

Ausführung der Kreisinsel	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
gepflastert/betoniert mit Bord	38 (16)	48	7,95	2,93
asphaltiert mit Bord	32 (12)	61	15,21	4,88
asphaltiert/markiert ohne Bord	5 (1)	8	5,80	1,59
k. A.	8 (6)	5	8,29	5,33
Gesamt	83 (35)	122	10,65	3,78

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 74:** Minikreisverkehre (mit DTV) nach Ausführung der Kreisinsel mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Ausführung der Kreisinsel	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
gepflastert/betoniert mit Bord	10 (6)	7	2,75	0,93
asphaltiert mit Bord	12 (7)	11	10,89	2,87
asphaltiert/markiert ohne Bord	2 (1)	1	1,67	0,47
k. A.	4 (3)	2	2,00	1,40
Gesamt	28 (17)	21	6,05	1,92

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 75:** 3-armige Minikreisverkehre (mit DTV) nach Ausführung der Kreisinsel mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Ausführung der Kreisinsel	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
gepflastert/betoniert mit Bord	28 (10)	41	9,81	3,74
asphaltiert mit Bord	20 (5)	50	17,81	6,56
asphaltiert/markiert ohne Bord	3 (0)	7	8,56	2,31
k. A.	4 (3)	3	14,58	8,69
Gesamt	55 (18)	101	13,00	4,91

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 76:** 4-armige Minikreisverkehre (mit DTV) nach Ausführung der Kreisinsel mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Ausführung der Kreisinsel	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
gepflastert/betoniert mit Bord	8 (4)	7	3,44	1,02
asphaltiert mit Bord	11 (7)	10	11,58	2,89
asphaltiert/markiert ohne Bord	1 (1)	0	0,00	0,00
k. A.	3 (2)	2	2,67	1,47
Gesamt	23 (14)	19	7,08	1,96

\* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle

**Tab. 77:** 3-armige Minikreisverkehre im Hauptverkehrsstraßen-netz (mit DTV) nach Ausführung der Kreisinsel mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Ausführung der Kreisinsel	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
gepflastert/betoniert mit Bord	2 (2)	0	0,00	0,00
asphaltiert mit Bord	1 (0)	1	3,33	2,28
asphaltiert/markiert ohne Bord	1 (0)	1	3,33	5,07
k. A.	1 (1)	0	0,00	0,00
Gesamt	5 (3)	2	1,33	1,32
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 78:** 3-armige Minikreisverkehre im Erschließungsstraßennetz (mit DTV) nach Ausführung der Kreisinsel mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Ausführung der Kreisinsel	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
gepflastert/betoniert mit Bord	17 (5)	25	10,71	4,12
asphaltiert mit Bord	14 (3)	41	20,46	6,72
asphaltiert/markiert ohne Bord	3 (0)	7	8,56	2,31
k. A.	4 (3)	3	14,58	8,69
Gesamt	38 (11)	76	14,54	5,28
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 79:** 4-armige Minikreisverkehre im Hauptverkehrsstraßennetz (mit DTV) nach Ausführung der Kreisinsel mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

Ausführung der Kreisinsel	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
gepflastert/betoniert mit Bord	11 (5)	16	8,42	3,16
asphaltiert mit Bord	6 (2)	9	11,61	5,98
asphaltiert/markiert ohne Bord	-	-	-	-
k. A.	-	-	-	-
Gesamt	17 (7)	25	9,55	3,96
* (...) = davon Knotenpunkte ohne Unfälle				

**Tab. 80:** 4-armige Minikreisverkehre im Erschließungsstraßennetz (mit DTV) nach Ausführung der Kreisinsel mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

### Unfallkennwerte differenziert nach Knotenpunktart

Knotenpunktart	$n_K$ [-]	$n_U$ [U]	UKD <sub>K,M</sub> [1.000 €/a]	UKR <sub>K,M</sub> [€/(1.000 Kfz)]
Minikreisverkehr 3-armig	12	14	8,60	2,02
Einmündung mit Verkehrszeichen	181	185	10,73	4,68
Einmündung mit LSA	28	76	32,28	6,60
Minikreisverkehr 4-armig	14	28	18,04	5,66
Kreuzung mit Verkehrszeichen	45	124	35,58	13,39
Kreuzung mit LSA	55	235	45,72	8,40

**Tab. 81:** 3- und 4-armige Knotenpunkte (mit DTV) an Hauptverkehrsstraßen nach Knotenpunktart mit Anzahl Unfälle, UKD<sub>K,M</sub> und UKR<sub>K,M</sub> (Unfallkategorien 1-4)

### 8.6 Messstellendokumentation

#### Messstelle 1: Stendal

Außendurchmesser: 20 m  
 Lage: HS/HS  
 Kreisinsel: Asphalt mit Bord  
 Kreisinseldurchmesser: 10 m  
 Fahrbahnteiler: keine/gepflastert (überfahrbar)  
 Verkehrsfreigabe: 2004

Zufahrt	Straße	V <sub>Zul</sub>
1	Scharnhorststraße West	50 km/h (SR 4)
2	Moltkestraße	50 km/h (SR 4)
3	Scharnhorststraße Ost	50 km/h (SR 4)
4	Fichestraße	-

Erhebungsdatum: Dienstag, 16.03.2010

#### Auswertungszeitraum Messung 1-1:

07:05 bis 08:05 Uhr

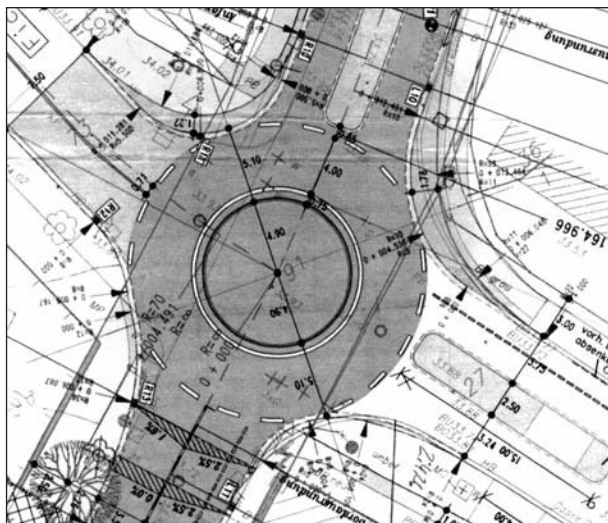
Verkehrsstärke in Fz/h					
von/nach	A1	A2	A3	A4	Summe
Z1	0	50	241	3	297
Z2	120	1	188	9	318
Z3	31	279	0	5	615
Z4	2	15	1	1	19
Gesamt					1.246

#### Auswertungszeitraum Messung 1-2:

15:35 bis 16:35 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h					
von/nach	A1	A2	A3	A4	Summe
Z1	1	83	335	5	424
Z2	151	2	265	24	442
Z3	380	225	0	11	616
Z4	9	9	2	0	20
Gesamt					1.502

#### Lageplan/Luftbild



#### Messstelle 2: Villingen-Schwenningen

Außendurchmesser: 20 m  
 Lage: HS/ES  
 Kreisinsel: Pflaster mit Bord  
 Kreisinseldurchmesser: 10 m  
 Fahrbahnteiler: gepflastert mit Bord  
 Verkehrsfreigabe: 2009

Zufahrt	Straße	V <sub>Zul</sub>
1	Neckarstraße	30 km/h
2	Wannenstraße	30 km/h
3	Alte Herdstraße	50 km/h

Erhebungsdatum: Mittwoch, 07.04.2010

#### Auswertungszeitraum Messung 2-1:

07:24 bis 08:24 Uhr

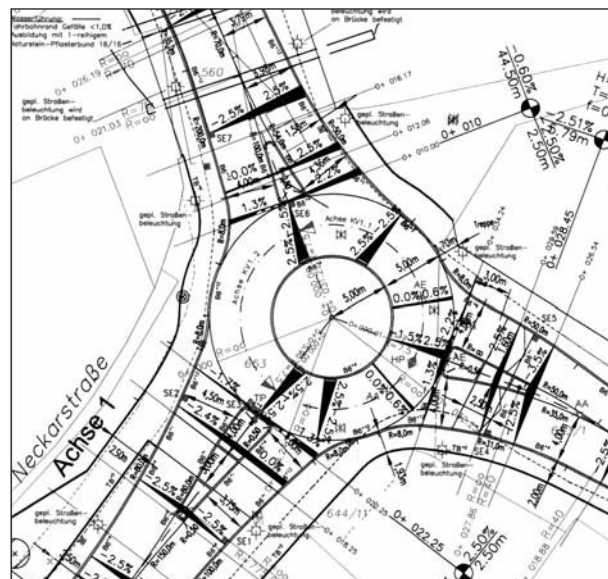
Verkehrsstärke in Fz/h				
von/nach	A1	A2	A3	Summe
Z1	1	52	268	321
Z2	30	0	56	119
Z3	212	45	2	292
Gesamt				732

#### Auswertungszeitraum Messung 2-2:

15:20 bis 16:20 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h				
von/nach	A1	A2	A3	Summe
Z1	3	60	374	437
Z2	92	0	158	250
Z3	317	135	4	456
Gesamt				1.143

#### Lageplan/Luftbild



**Messstelle 3: Schwäbisch Gmünd**

Außendurchmesser: 17 m

Lage: HS/ES

Kreisinsel: markiert

Kreisinseldurchmesser: 5 m

Fahrbahnteiler: markiert/keine

Verkehrsfreigabe: 2000

Zufahrt	Straße	V <sub>Zul</sub>
1	Josefstraße	30 km/h
2	Heugenstraße	50 km/h
3	Weißensteiner Str.	50 km/h
4	Waldstetter Gasse	50 km/h

Erhebungsdatum: Donnerstag, 08.04.2010

**Auswertungszeitraum Messung 3-1:**

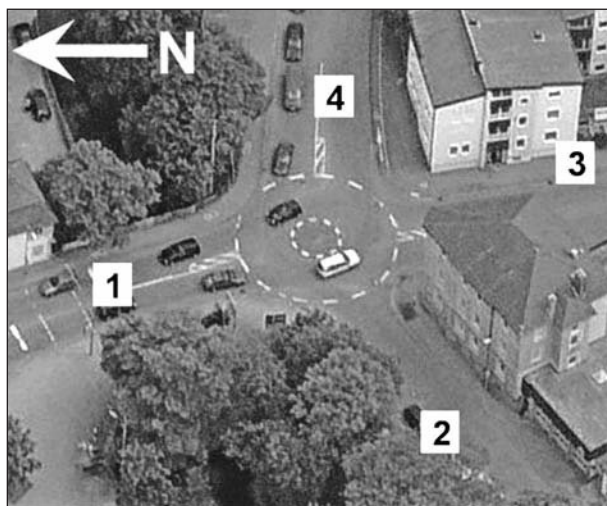
07:40 bis 08:40 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h					
von/nach	A1	A2	A3	A4	Summe
Z1	0	0	0	0	0
Z2	4	2	39	238	283
Z3	112	38	2	305	457
Z4	23	132	227	1	383
<b>Gesamt</b>					<b>1.123</b>

**Auswertungszeitraum Messung 3-2:**

15:40 bis 16:40 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h					
von/nach	A1	A2	A3	A4	Summe
Z1	0	0	0	0	0
Z2	3	0	116	233	352
Z3	89	68	1	366	524
Z4	19	185	334	1	539
<b>Gesamt</b>					<b>1.415</b>

**Lageplan/Luftbild****Messstelle 4: Niederolm**

Außendurchmesser: 20 m

Lage: HS/HS

Kreisinsel: Pflaster mit Bord

Kreisinseldurchmesser: 11 m

Fahrbahnteiler: keine

Verkehrsfreigabe: 2002

Zufahrt	Straße	V <sub>Zul</sub>
1	Pariser Straße	30 km/h
2	Oppenheimer Straße (Süd)	30 km/h (SR 4)
3	Bahnhofstraße	30 km/h
4	Oppenheimer Straße (Nord)	30 km/h

Erhebungsdatum: Freitag, 09.04.2010

**Auswertungszeitraum Messung 4-1**

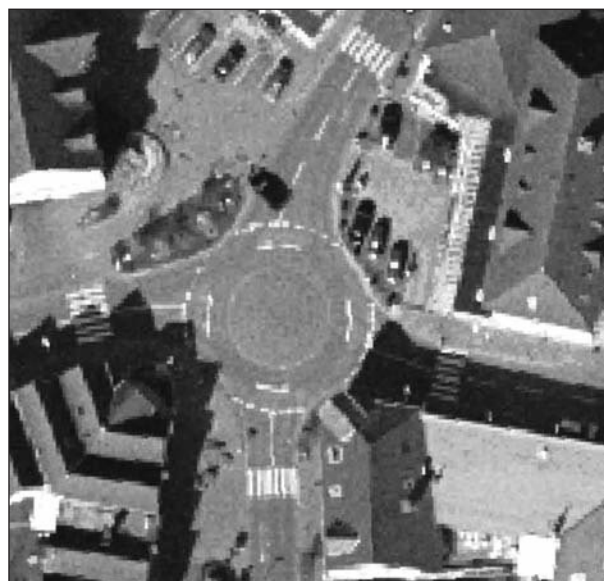
08:00 bis 09:00 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h					
von/nach	A1	A2	A3	A4	Summe
Z1	5	48	79	103	235
Z2	39	2	16	51	108
Z3	90	12	3	66	171
Z4	81	38	50	2	171
<b>Gesamt</b>					<b>685</b>

**Auswertungszeitraum Messung 4-2:**

15:40 bis 16:40 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h					
von/nach	A1	A2	A3	A4	Summe
Z1	7	75	739	123	344
Z2	50	4	11	43	108
Z3	172	18	5	56	251
Z4	96	65	46	2	209
<b>Gesamt</b>					<b>912</b>

**Lageplan/Luftbild**



**Messstelle 5: Sieburg I**

Außendurchmesser: 22 m

Lage: HS/HS

Kreisinsel: Asphalt mit Bord

Kreisinseldurchmesser: 12 m

Fahrbahnteiler: gepflastert mit Bord

Verkehrsfreigabe: 2007

Zufahrt	Straße	V <sub>Zul</sub>
1	Grimmelsgasse (Sackgasse)	50 km/h
2	Grimmelsgasse	50 km/h (SR 4)
3	Cecilienstraße	50 km/h (SR 4)

Erhebungsdatum: Dienstag, 13.04.2010

**Auswertungszeitraum Messung 5-1:**

08:04 bis 09:04 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h				
von/nach	A1	A2	A3	Summe
Z1	1	39	41	81
Z2	145	4	260	409
Z3	97	158	4	259
Gesamt				749

**Auswertungszeitraum Messung 5-2:**

14:53 bis 15:53 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h				
von/nach	A1	A2	A3	Summe
Z1	10	108	103	221
Z2	153	2	253	408
Z3	142	276	4	422
Gesamt				1.051

**Lageplan/Luftbild****Messstelle 6: Sieburg II**

Außendurchmesser: 15 m

Lage: HS/ES

Kreisinsel: markiert

Kreisinseldurchmesser: 3,2 m

Fahrbahnteiler: keine

Verkehrsfreigabe: 2007

Zufahrt	Straße	V <sub>Zul</sub>
1	Kaiser-Wilhelm-Platz	50 km/h (SR 4)
2	Siegfeldstraße	30 km/h
3	Mühlenstraße	50 km/h (SR 4)

Erhebungsdatum: Mittwoch, 14.04.2010

**Auswertungszeitraum Messung 6-1:**

07:52 bis 08:52 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h				
von/nach	A1	A2	A3	Summe
Z1	7	197	246	450
Z2	295	0	127	422
Z3	147	34	1	182
Gesamt				1.054

**Auswertungszeitraum Messung 6-2:**

14:54 bis 15:54 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h				
von/nach	A1	A2	A3	Summe
Z1	10	249	172	431
Z2	201	2	66	269
Z3	214	70	2	286
Gesamt				986

**Lageplan/Luftbild**

**Messstelle 7: Greven**

Außendurchmesser: 19,5 m

Lage: HS/HS

Kreisinsel: Pflaster mit Bord

Kreisinseldurchmesser: 9 m

Fahrbahnteiler: gepflastert mit Bord

Verkehrsfreigabe: 2007

Zufahrt	Straße	V <sub>Zul</sub>
1	Königstraße (West)	50 km/h
2	Bismarckstraße (Süd)	50 km/h
3	Königstraße (Ost)	50 km/h
4	Bismarckstraße (Nord)	50 km/h

Erhebungsdatum: Donnerstag, 15.04.2010

**Auswertungszeitraum Messung 7-1:**

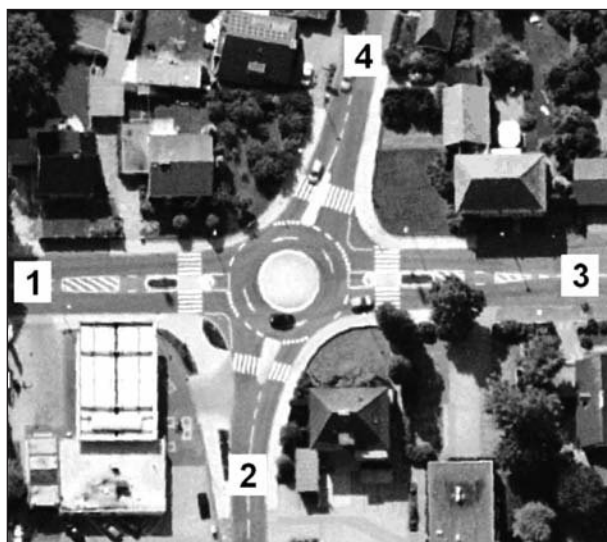
07:15 bis 08:15 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h					
von/nach	A1	A2	A3	A4	Summe
Z1	0	40	344	112	496
Z2	33	0	49	72	154
Z3	385	43	1	24	453
Z4	95	65	29	0	189
<b>Gesamt</b>					<b>1.292</b>

**Auswertungszeitraum Messung 7-2:**

15:40 bis 16:40 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h					
von/nach	A1	A2	A3	A4	Summe
Z1	2	47	396	86	533
Z2	40	0	60	70	170
Z3	348	61	4	29	442
Z4	88	69	21	2	180
<b>Gesamt</b>					<b>1.325</b>

**Lageplan/Luftbild****Messstelle 8: Hagen**

Außendurchmesser: 18 m

Lage: HS/HS

Kreisinsel: Pflaster mit Bord

Kreisinseldurchmesser: 10 m

Fahrbahnteiler: gepflastert mit und ohne Bord

Verkehrsfreigabe: 2002

Zufahrt	Straße	V <sub>Zul</sub>
1	Schulstraße	30 km/h (7-14 Uhr) (SR 4)
2	Osnabrücker Straße (Süd-West)	50 km/h
3	Osnabrücker Straße (Nord)	50 km/h (SR 4)

Erhebungsdatum: Freitag, 16.04.2010

**Auswertungszeitraum Messung 8-1:**

07:27 bis 08:27 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h				
von/nach	A1	A2	A3	Summe
Z1	0	275	171	446
Z2	239	0	151	390
Z3	161	105	0	266
<b>Gesamt</b>				<b>1.102</b>

**Auswertungszeitraum Messung 8-2:**

14:43 bis 15:43 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h				
von/nach	A1	A2	A3	Summe
Z1	4	342	162	508
Z2	362	3	145	510
Z3	217	166	2	385
<b>Gesamt</b>				<b>1.403</b>

**Lageplan/Luftbild**

**Messstelle 9: Apensen**

Außendurchmesser: 22 m  
 Lage: HS/HS  
 Kreisinsel: Pflaster mit Bord  
 Kreisinseldurchmesser: 10 m  
 Fahrbahnteiler: z. T. vorhanden  
 Verkehrsfreigabe: 2006

Zufahrt	Straße	V <sub>Zul</sub>
1	Stader Straße	50 km/h
2	Beckdorfer Straße	50 km/h (SR 4)
3	Buxtehuder Straße	50 km/h
4	Gemeindeanschluss	-

**Erhebungsdatum:** Mittwoch, 11.08.2010

**Auswertungszeitraum Messung 9-1:**

07:23 bis 08:23 Uhr

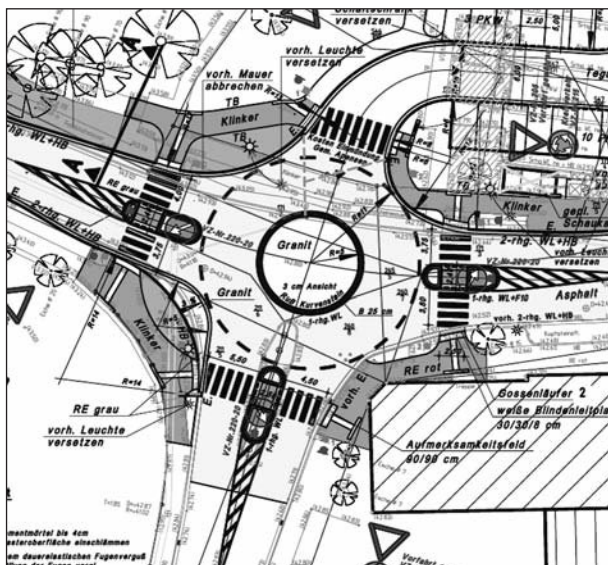
Verkehrsstärke in Fz/h					
von/nach	A1	A2	A3	A4	Summe
Z1	0	234	112	26	372
Z2	176	0	355	27	558
Z3	40	179	2	0	221
Z4	15	14	16	0	45
<b>Gesamt</b>					<b>1.196</b>

**Auswertungszeitraum Messung 9-2:**

16:00 bis 17:00 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h					
von/nach	A1	A2	A3	A4	Summe
Z1	0	188	73	16	277
Z2	244	0	232	23	499
Z3	85	404	2	7	498
Z4	35	60	24	0	119
<b>Gesamt</b>					<b>1.393</b>

**Lageplan/Luftbild**



**Messstelle 10: Harsefeld**

Außendurchmesser: 17,5 m  
 Lage: HS/ES  
 Kreisinsel: Asphalt mit Bord  
 Kreisinseldurchmesser: 7,5 m  
 Fahrbahnteiler: gepflastert mit Bord  
 Verkehrsfreigabe: 2008

Zufahrt	Straße	V <sub>Zul</sub>
1	Herrenstraße (Süd)	50 km/h (SR 4)
2	Im Sande	50 km/h
3	Herrenstraße (Nord)	50 km/h

**Erhebungsdatum:** Donnerstag, 12.08.2010

**Auswertungszeitraum Messung 10-1:**

07:20 bis 08:20 Uhr

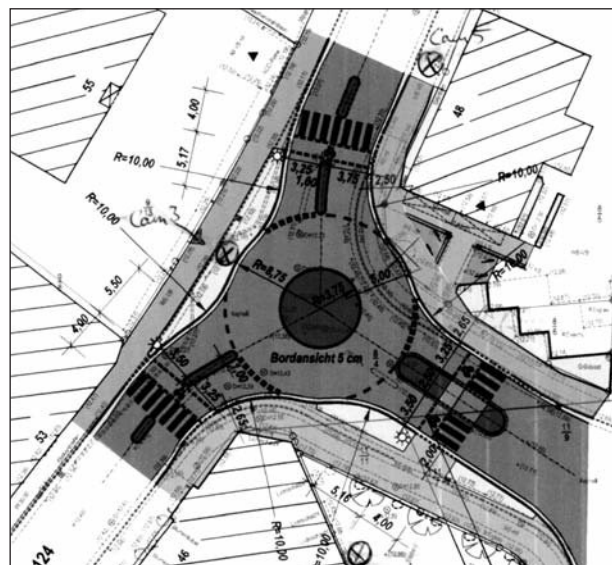
Verkehrsstärke in Fz/h				
von/nach	A1	A2	A3	Summe
Z1	1	42	264	307
Z2	89	0	145	234
Z3	291	212	1	504
<b>Gesamt</b>				<b>1.045</b>

**Auswertungszeitraum Messung 10-2:**

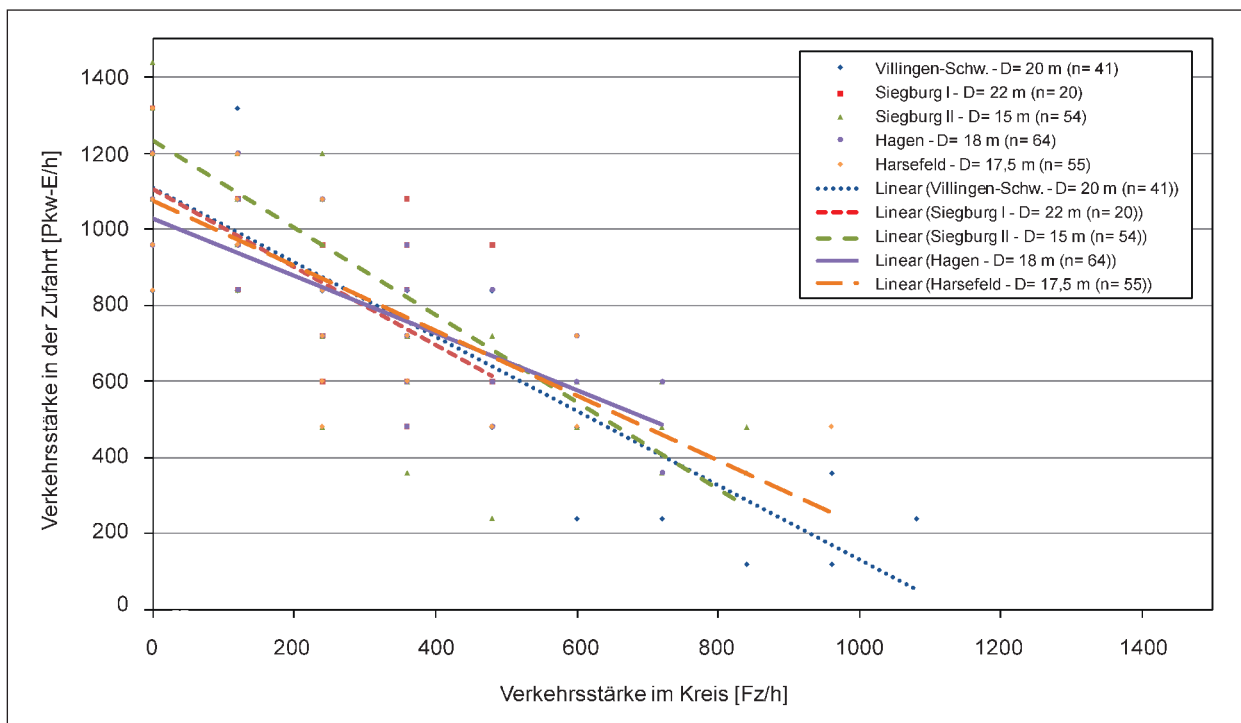
15:40 bis 16:40 Uhr

Verkehrsstärke in Fz/h				
von/nach	A1	A2	A3	Summe
Z1	2	66	236	304
Z2	103	1	254	358
Z3	369	157	0	526
<b>Gesamt</b>				<b>1.188</b>

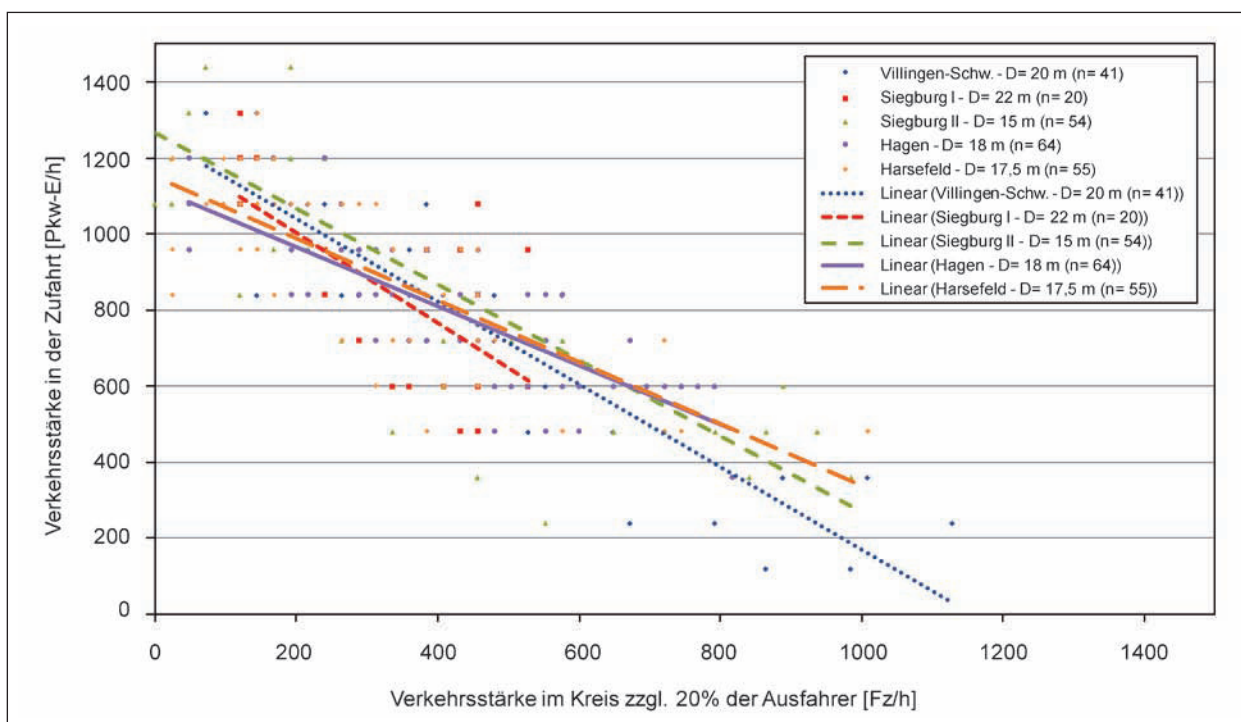
**Lageplan/Luftbild**



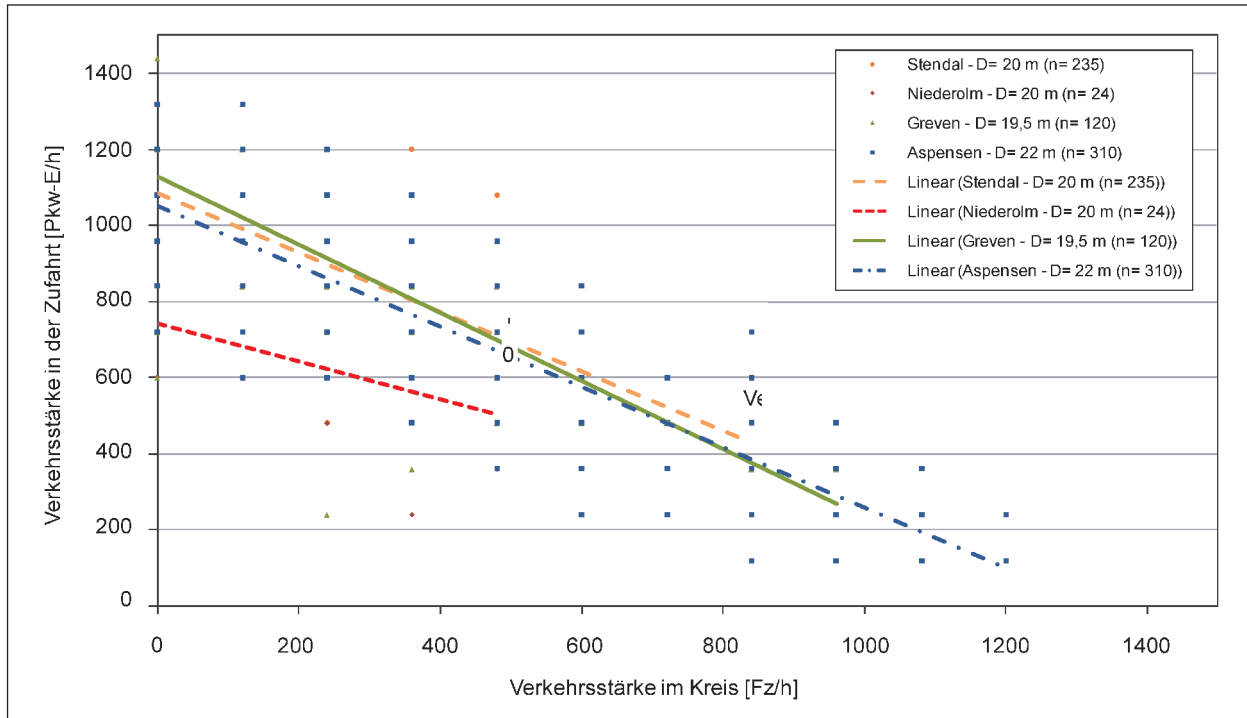
### 8.7 Ergebnisse der anlagen- bezogenen Einzelregressionen für die Zeitintervalle mit ständigem Rückstau



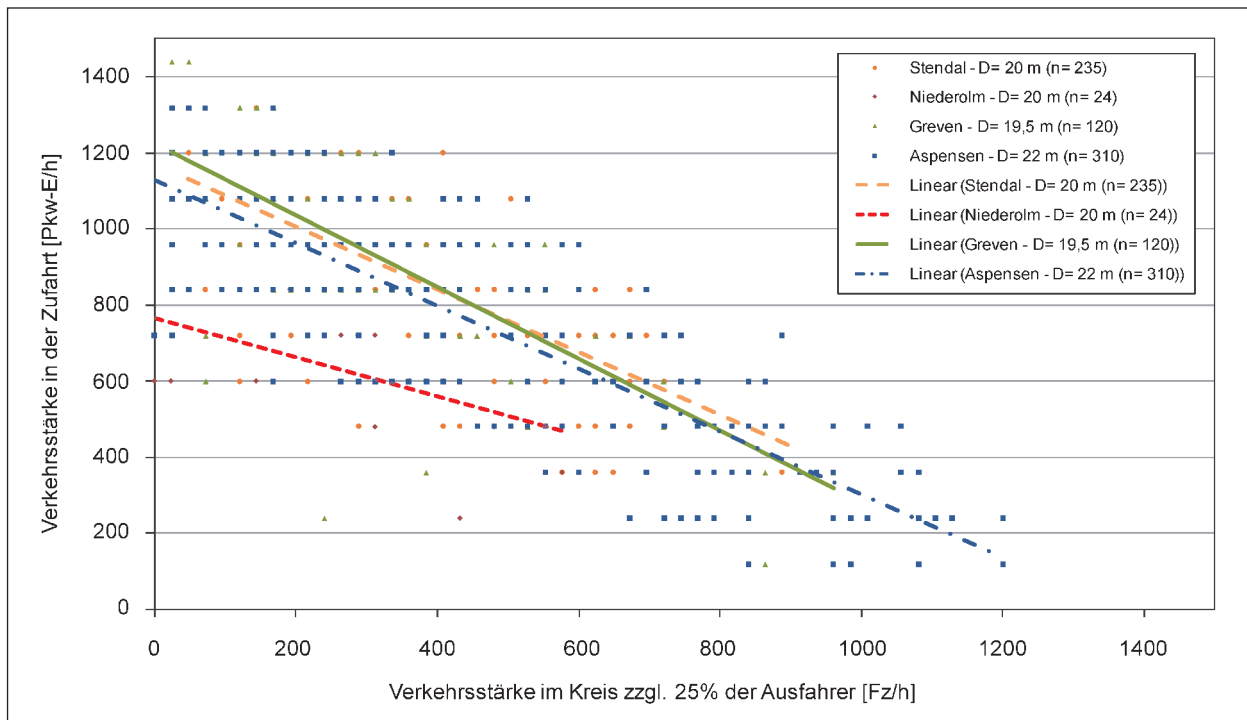
**Bild 158:** Anlagenbezogene Messwerte der Intervalle mit ständigem Rückstau (RST) und Regressionsgerade für Minikreisverkehre mit 3 Zufahrten (ohne Berücksichtigung der Ausfahrer)



**Bild 159:** Anlagenbezogene Messwerte der Intervalle mit ständigem Rückstau (RST) und Regressionsgerade für Minikreisverkehre mit 3 Zufahrten (mit Berücksichtigung der Ausfahrer)

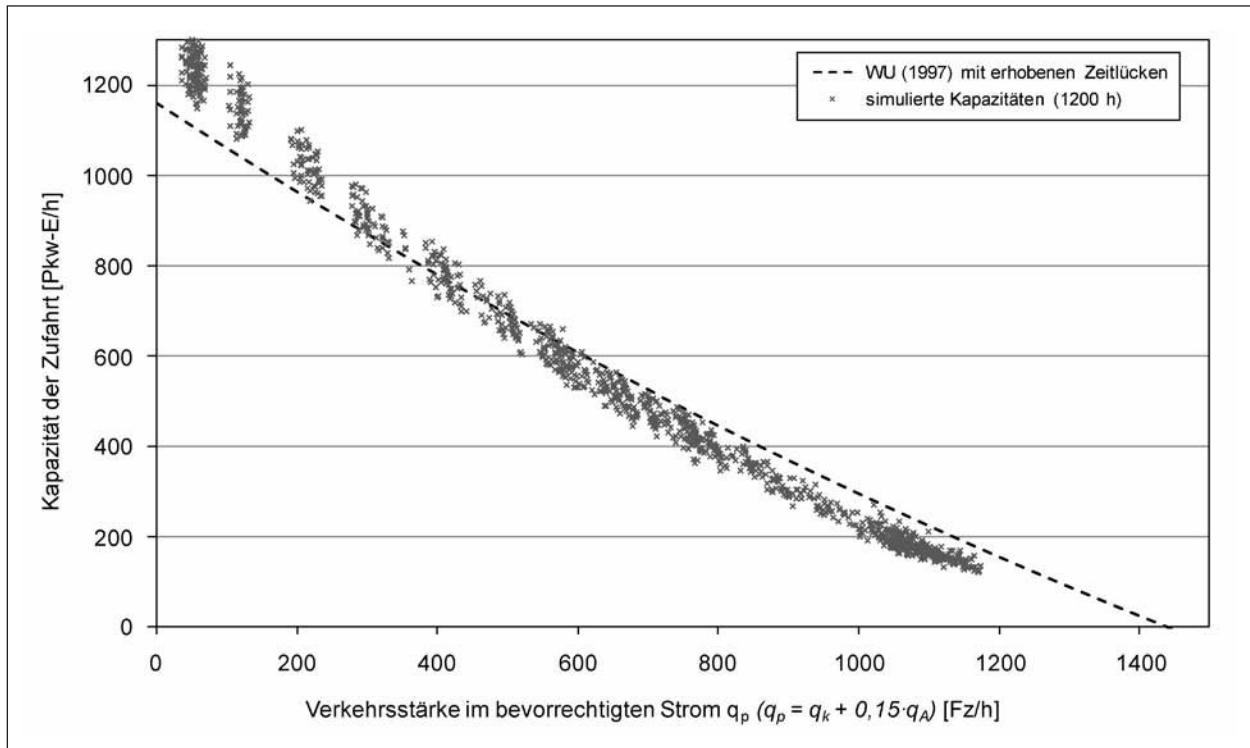


**Bild 160:** Anlagenbezogene Messwerte der Intervalle mit ständigem Rückstau (RST) und Regressionsgerade für Minikreisverkehre mit 4 Zufahrten (ohne Berücksichtigung der Ausfahrer)

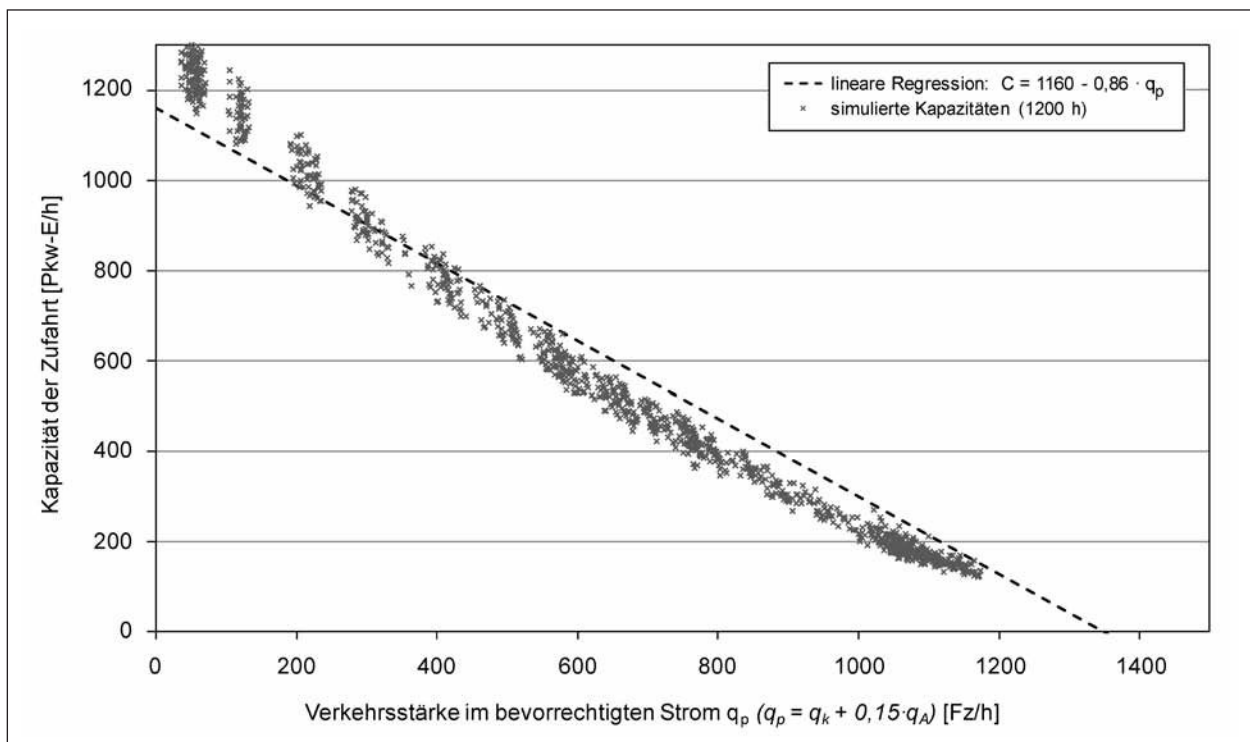


**Bild 161:** Anlagenbezogene Messwerte der Intervalle mit ständigem Rückstau (RST) und Regressionsgerade für Minikreisverkehre mit 4 Zufahrten (mit Berücksichtigung der Ausfahrer)

## 8.8 Ergebnisse der Simulations- untersuchung



**Bild 162:** Simulierte Kapazitäten ohne Berücksichtigung des Fußgängereinflusses und Kapazitätsfunktion nach Zeitlückenverfahren



**Bild 163:** Simulierte Kapazitäten ohne Berücksichtigung des Fußgängereinflusses und Kapazitätsfunktion nach Regressionsansatz

## 9 Literatur

- ACHTENHAGEN, S.: Untersuchung des Einflusses von Geschwindigkeit und Art des Fahrbahnbelags auf die Lärmbelastung von Innerortsstraßen. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik der TU Dresden, Dresden 2008 (unveröffentlicht)
- AKÇELİK, R., TROUTBECK, R. (1991): Implementation of the Australian roundabout analysis method in SIDRA. In: Highway Capacity and Level of Service. Proceeding of the International Symposium on Highway Capacity Karlsruhe, Balkema
- BAIER, M. M., KLEMP-S-KOHNEN, A., LEU, Ph., MÜLLER, A.: Überprüfung der Verkehrssicherheit für das Linksabbiegen bei unterschiedlichen Formen der Signalisierung. FE 03.421/2006/DRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Aachen 2010
- BAIER, R., KLEMP-S-KOHNEN, A.: Überprüfung der Verkehrssicherheit am Minikreisverkehr Hermann-Löns-Straße/Buchholzstraße in Bergisch Gladbach. Im Auftrag der Stadt Bergisch Gladbach, Aachen 2011 (unveröffentlicht)
- BARK, A., KUTSCHERA, R., BAIER, R., KLEMP-S-KOHNEN, A.: Handbuch der Verkehrssicherheit von Straßen – Entwurf eines Handbuchs für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen. FE 03.389/2005/FGB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Gießen/Aachen 2008 (unveröffentlicht)
- BARK, A., KUTSCHERA, R., BAIER, R., KLEMP-S-KOHNEN, A., MAIER, R., BERGER, R.: Bewertung der Sicherheitsbelange der Straßenverkehrsinfrastruktur. FE 16.0012/2009 im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Gießen/Dresden/Aachen 2010 (1. Zwischenbericht Juni 2010, in Bearbeitung)
- BÖSL, B.: Wie sicher sind Kreisverkehrsplätze? In: Straßenverkehrstechnik 7/2006, S. 416-419
- BOVY, P. H.: Zusammenfassung des Schweizerischen Kreiselhandbuchs. In: Straße und Verkehr 3/1991, S. 129-139
- BRILON, W.: Verkehrsablauf an Knotenpunkten. In: Der Ingenieurbau – Grundwissen in 9 Bänden, Band 3: Fahrdynamik, Verkehrsfluss. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1995
- BRILON, W., ALBERS, A., LANGE, J., OHADI, H., SCHNÜLL, R., STUWE, B.: Einsatzmöglichkeiten von Kreisverkehrsplätzen und aufgeweiteten Knotenpunkten unter besonderer Berücksichtigung ausländischer Erfahrungen. Schlussbericht zum Forschungsauftrag FE 77198/87 des Bundesministers für Verkehr. Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum und Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau, Universität Hannover 1990
- BRILON, W., BÄUMER, H., FLOTTMANN, O.: Verkehrssicherheit an Minikreisverkehren. In: Straßenverkehrstechnik 4/2002, S. 182-187
- BRILON, W., BONDZIO, L.: Untersuchung von Minikreisverkehrsplätzen in Nordrhein-Westfalen. In: Straßenverkehrstechnik 9/1999, S. 428-434
- BRILON, W., BONDZIO, L., WU, N.: Neue Forschungsergebnisse zur Kapazität von Kreisverkehrsplätzen. In: Straßenverkehrstechnik 9/1997, S. 425-429
- BRILON, W., BONDZIO, L., WU, N.: Unsignalized Intersection in Germany – a State of the Art. 2<sup>nd</sup> international Portland Symposium for unsignalized intersections, Portland/Oregon 1997
- BRILON, W., GEPPERT, A.: Verkehrsqualität an zweistreifigen Kreisverkehren unter Berücksichtigung der Abbiegebeziehungen und aktueller Grenz- und Folgezeitlücken. Schlussbericht zum Forschungsauftrag FE 02.278/2006/ARB der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Lehrstuhl für Verkehrswesen, Ruhr-Universität Bochum 2010 (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., KRAMPE, S.: KREISEL (Version 6.1) – Programm zur Berechnung der Kapazität und Verkehrsqualität an Kreisverkehrsplätzen (Handbuch). BPS GmbH, Karlsruhe 2004

- BRILON, W., WEINERT, A.: Ermittlung aktueller Grenz- und Folgezeitlücken für Außerortsknoten ohne Lichtsignalanlagen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 828, Bonn 2001
- BRILON, W., WU, N.: Kapazität von Kreisverkehren – Aktualisierung. In: Straßenverkehrstechnik 5/2008, S. 280-288
- BRÜEL & KJAER: Umweltlärm. Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, Naerum (DK) 2001
- BÜHLMANN, F., LAUBE, M., GUHA, P. J., WEBER, M.: Minikreisel. Forschungsauftrag VSS 1998/192 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleuten, 2007
- DIN 11819-1: Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche, Teil 1: Statistisches Vorbeifahrtverfahren. Deutsches Institut für Normung, Berlin 2002
- DIN 45642: Messung von Verkehrsgeräuschen. Deutsches Institut für Normung, Berlin 2004
- Europäische Richtlinie 2003/613/EG: Empfehlung der Kommission vom 6. August 2003 über Leitlinien für die geänderten vorläufigen Berechnungsmethoden für Industrie-, Flug-, Straßenverkehrs- und Eisenbahnlärm und diesbezügliche Emissionsdaten. Amtsblatt der Europäischen Union, L 212/49, Brüssel 2003
- FGSV: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS), Ausgabe 1990. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 1990
- FGSV: Richtlinien für die Anlage und Ausstattung von Fußgängerüberwegen (R-FGÜ), Ausgabe 2001. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2001
- FGSV (HBS 2001): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2001 (überarbeitete Fassung vom 09.02.2005)
- FGSV: Merkblatt für die Auswertung von Straßenverkehrsunfällen, Teil 1: Führen und Auswerten von Unfalltypen-Steckkarten, Ausgabe 2003. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2003
- FGSV 2006A: Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Köln 2006
- FGSV 2006B: Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt), Ausgabe 2006. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2006
- FGSV 2006C: Hinweise zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation – Grundlagen und Anwendung. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2006
- FGSV (RIN-2008): Richtlinien für integrierte Netzgestaltung. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln 2008
- GLEUE, A. W.: Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung signal geregelter Knotenpunkte. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 136, Bonn-Bad Godesberg 1972
- HALLER, W., LANGE, J.: Fußgänger- und Radverkehrsführung an Kreisverkehrsplätzen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 793, Bonn-Bad Godesberg 2000
- HANTSCHEL, S.: Übertragung des Konfliktmatrixverfahrens auf die Bemessung von Kreisverkehren. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik mit Fachbereich Theorie der Verkehrsplanung der TU Dresden, Dresden 2009
- HLSV: Leitfaden zur Qualitätssicherung bei Planung, Bau und Betrieb von Kreisverkehren. Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen, Wiesbaden 2004
- KENNEDY, J. V., HALL, R. D., BARNARD, S. R.: Accidenst at urban mini-roundabouts. TRL Report 281, Crowthorne 1998
- KIMBER, R. M.: The traffic capacity of roundabouts. TRRL Laboratory Report 942, Crowthorne 1980
- KIMBER, R. M., HOLLIS, E. M.: Traffic queues and delay at road junctions. TRRL Laboratory Report 909, Crowthorne 1979
- KREMSENER, H.: Ein zusammengesetztes Wartezeitproblem bei poissonischen Verkehrsströmen. In: Österreichisches Ingenieur-Archiv, 16, 1962



- KYTE, M.: Capacity and Delay Characteristics of Two-Way Stop-Controlled Intersections. Transportation Research Record 1320. TRB, National Research Council, S. 160-167, Washington D.C. 1991
- KYTE, M., TIAN, Z., MIR, Z., HAMEEDMANSOOR, Z., KITTELSON, W., VANDEHEY, M., ROBINSON, B., BRILON, W., BONDZIO, L., WU, N., TROUTBECK, R.: Capacity and Level of Service at Unsignalized Intersections. National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Project 3-46, Washington D.C. 1996
- MAIER, R., ENKE, M.: Bewertung der Ortsumgehungen aus Verkehrssicherheitssicht. Ergänzungsauftrag zum FE 82.278/2004 im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen, Dresden 2009 (Entwurf Schlussbericht vom 24. August 2009)
- MAIER, R., ENKE, M., SCHMOTZ, M., BAIER, M. M.: Weiterentwicklung des Verfahrens zur Bewertung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage. Schlussberichtsentwurf zum Forschungsauftrag FE 02.277/2006/ARB des Bundesministers für Verkehr. Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik der TU Dresden und BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Aachen Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen/Dresden 2010
- MAILER, M.: Untersuchung zur Leistungsfähigkeit von Minikreisverkehren. Beiträge zu einer ökologisch und sozial verträglichen Verkehrsplanung, Heft 1/1997, Wien 1997
- MAURO, R.: Calculation of Roundabouts – capacity, waiting phenomena and reliability. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg 2010
- MAYCOCK, G., HALL, R. D.: Accidents at 4-arm Roundabouts. Transport and Road Research Laboratory (TRRL), TRRL Laboratory Report 1120, Crowthorne, Berkshire (GB) 1984
- MILTNER, T.: Verkehrsqualität an vorfahrtgeregelten Innerortsknotenpunkten. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 27, Bochum 2003
- MWMTV: Empfehlungen zum Einsatz und zur Gestaltung von Mini-Kreisverkehrsplätzen. Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1999
- Planung Transport Verkehr AG (PTV): VISSIM 5.30 – Benutzerhandbuch. Karlsruhe 2010
- REBSTOCK, M.: Barrierefreie Gestaltung von kleinen und Mini-Kreisverkehrsplätzen. Thüringer Ministerium für Soziales, Familie und Gesundheit, Erfurt 2005 (siehe auch Ergebnisse aus der Straßenverkehrsforschung in Straßenverkehrstechnik 7/2006, S. 425-428)
- SANDBERG, U.: Vehicle Categories for Description of Noise Sources. Technical Report HAR11TR-030108-VTI01, Swedish National Road and Transport Research Institute, Göteborg 2003
- SAWERS, C.: Mini-roundabouts – getting them right! Mini-Roundabouts – A Definitive Guide, Canterbury 1996 (siehe auch [www.mini-roundabout.com](http://www.mini-roundabout.com))
- SIEGLOCH, W.: Die Leistungsermittlung an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 154, Bonn 1973
- 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)
- STUWE, B.: Untersuchung der Leistungsfähigkeit und Verkehrssicherheit an deutschen Kreisverkehrsplätzen. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 10, Bochum 1992
- TANNER, J. C.: The capacity of an uncontrolled intersection. Biometrika, 54 (3 and 4), pp. 657-658, 1967
- TROUTBECK, R.: Estimating the Critical Acceptance Gap from Traffic Movements. Research Report 92-5, Queensland University of Technology, Brisbane 1992
- WEINERT, A.: Grenz- und Folgezeitlücken an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage. Schriftenreihe des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Heft 23, Bochum 2001
- WIEDEMANN, R.: Simulationen des Verkehrsflusses. Schriftenreihe des Instituts für Verkehrswesen der Universität Karlsruhe, Heft 8, Karlsruhe 1974

WU, N.: Capacity at All-Way Stop-Controlled (AWSC) and First-In-First-Out (FIFO) intersections. In: B. (ed.), Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Symposium on Highway Capacity. Transportation Research Circular E-C018. Hawaii 2000

WU, N.: Eine universelle Formel zur Berechnung der Leistungsfähigkeit an Kreisverkehrsplätzen. Arbeitsblätter des Lehrstuhls für Verkehrswesen der Ruhr-Universität Bochum, Nr. 13, Bochum 2001

## Schriftenreihe

### Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

#### Unterreihe „Verkehrstechnik“

## 2009

- V 176: Bestimmung der vertikalen Richtcharakteristik der Schallabstrahlung von Pkw, Transportern und Lkw  
Schulze, Hübel € 13,00
- V 177: Sicherheitswirkung eingefräster Rüttelstreifen entlang der BAB A24  
Lerner, Hegewald, Löhe, Velling € 13,50
- V 178: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2007 – Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen  
Fitschen € 26,00
- V 179: Straßenverkehrszählung 2005: Methodik  
Kathmann, Ziegler, Thomas € 15,50
- V 180: Verteilung von Tausalzen auf der Fahrbahn  
Hausmann € 14,50
- V 181: Voraussetzungen für dynamische Wegweisung mit integrierten Stau- und Reisezeitinformationen  
Hülsemann, Krems, Henning, Thiemer € 18,50
- V 182: Verkehrsqualitätsstufenkonzepte für Hauptverkehrsstraßen mit straßenbündigen Stadt-/Straßenbahnkörpern  
Sümmermann, Lank, Steinauer, M. Baier, R. Baier, Klemps-Kohnen € 17,00
- 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
- V 184: Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern  
Alrutz, Bohle, Müller, Prahlow, Hacke, Lohmann € 19,00
- V 185: Möglichkeiten zur schnelleren Umsetzung und Priorisierung straßenbaulicher Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit  
Gerlach, Kesting, Thiemeyer € 16,00
- V 186: Beurteilung der Streustoffverteilung im Winterdienst  
Badelt, Moritz € 17,00
- V 187: Qualitätsmanagementkonzept für den Betrieb der Verkehrsrechnerzentralen des Bundes  
Kirschfink, Aretz € 16,50

## 2010

- V 188: Stoffeinträge in den Straßenseitenraum – Reifenabrieb  
Kocher, Brose, Feix, Görg, Peters, Schenker € 14,00
- V 189: Einfluss von verkehrsberuhigenden Maßnahmen auf die PM10-Belastung an Straßen  
Düring, Lohmeyer, Pöschke, Ahrens, Bartz, Wittwer, Becker, Richter, Schmidt, Kupiainen, Pirjola, Stojiljkovic, Malinen, Portin € 16,50
- V 190: Entwicklung besonderer Fahrbahnbeläge zur Beeinflussung der Geschwindigkeitwahl  
Lank, Steinauer, Busen € 29,50  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

- V 191: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008  
Fitschen, Nordmann € 27,00  
Dieser Bericht ist als Buch und als CD erhältlich oder kann ferner als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

- V 192: Anprall von Pkw unter großen Winkeln gegen Fahrzeugrückhaltesysteme  
Gärtner, Egelhaaf € 14,00

- V 193: Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen  
Klöckner € 14,50

- V 194: Einbindung städtischer Verkehrsinformationen in ein regionales Verkehrsmanagement  
Ansorge, Kirschfink, von der Ruhren, Hebel, Johanning € 16,50

- V 195: Abwasserbehandlung an PWC-Anlagen  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.  
Londong, Meyer € 29,50

- V 196: Sicherheitsrelevante Aspekte der Straßenplanung  
Bark, Kutschera, Baier, Klemps-Kohnen E 16,00

- V 197: Zählungen des ausländischen Kraftfahrzeugverkehrs auf den Bundesautobahnen und Europastraßen 2008  
Lensing € 16,50

- V 198: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2005/2006  
Kocher, Brose, Chlubek, Karagüzel, Klein, Siebertz € 14,50

- V 199: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2006/2007  
Kocher, Brose, Chlubek, Görg, Klein, Siebertz € 14,00

- V 200: Ermittlung von Standarts für anforderungsgerechte Datenqualität bei Verkehrserhebungen  
Bäumer, Hautzinger, Kathmann, Schmitz, Sommer, Wermuth € 18,00

- V 201: Quantifizierung der Sicherheitswirkungen verschiedener Bau-, Gestaltungs- und Betriebsformen auf Landstraßen  
Viets, Dohmen, Dürhager, Legge € 16,00

## 2011

- V 202: Einfluss innerörtlicher Grünflächen und Wasserflächen auf die PM10-Belastung  
Endlicher, Langner, Dannenmeier, Fiedler, Herrmann, Ohmer, Dalter, Kull, Gebhardt, Hartmann € 16,00

- V 203: Bewertung von Ortsumgehungen aus Sicht der Verkehrssicherheit  
Dohmen, Viets, Kesting, Dürhager, Funke-Akbiyik € 16,50

- V 204: Einfluss von Straßenrandbegrünung auf die PM10-Belastung  
Bracke, Reznik, Mölleken, Berteilt, Schmidt € 22,00  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

- V 205: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2009  
Fitschen, Nordmann € 27,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

- V 206: Sicherheitspotenzialkarten für Bundesstraßen nach den ESN  
Färber, Lerner, Pöppel-Decker € 14,50

- V 207: Gestaltung von Notöffnungen in transportablen Schutzeinrichtungen  
Becker € 16,00

- V 208: Fahrbahnquerschnitte in baulichen Engstellen von Ortsdurchfahrten  
Gerlach, Breidenbach, Rudolph, Huber, Brosch, Kesting € 17,50

V 209: Stoffeintrag in Straßenrandböden – Messzeitraum 2008/2009  
Beer, Surkus, Kocher € 14,50

## 2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)  
Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädelungstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete  
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen  
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB  
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren  
Schmellekamp, Tegethof  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter  
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)  
Lippold, Weise, Jährg € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen  
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase, Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen  
Hausmann € 16,00

V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter  
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

## 2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie  
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen  
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS  
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, Rehberger € 19,50

V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010  
Fitschen, Nordmann € 16,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufenthaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2  
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken  
Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst  
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50

V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen  
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr  
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann, Mahlau, Gässler € 17,00

V 228: Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr  
Baier, Göbbels, Klemp-Kohnen € 15,50

V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Messsystemen  
Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50

V 230: Verkehrsadaptive Netzsteuerungen  
Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50

V 231: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011  
Fitschen, Nordmann € 28,50  
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 232: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme  
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50

V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse  
Lensing € 16,00

V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik  
Lensing € 17,50

## 2014

V 235: Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe  
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

V 236: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012  
Fitschen, Nordmann € 28,50  
Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können außerdem als kostenpflichtiger Download unter [www.nw-verlag.de](http://www.nw-verlag.de) heruntergeladen werden.

V 237: Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nachweis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung im Rahmen der KP II – Maßnahmen  
Bund-Länder Arbeitskreis  
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden. Der Anhang ist interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.

V 238: Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebsdienst – Sommerdienst  
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen  
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

V 240: Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen  
Baier, Leu, Klemp-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH  
Zweite Schlachtpforte 7  
28195 Bremen  
Tel. (0421) 3 69 03-53  
Fax (0421) 3 69 03-48  
[www.schuenemann-verlag.de](http://www.schuenemann-verlag.de)

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.