

## Ableitung von Einsatzbereichen und -grenzen von Minikreisverkehren

FA 77.491

Forschungsstelle: BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH, Aachen / Technische Universität Dresden, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr (Prof. Dr.-Ing. R. Maier)

Bearbeiter: Baier, R./Maier, R./Klamps-Kohnen, A./Schmotz, M./Leu, P./Reinartz, A.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: September 2011

### 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, das Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (2006) [1] und die RASt (2006) [2]. Bei Beachtung der in den RASt (2006) genannten Vorgaben zur Lage und Funktion im Netz sowie bezüglich der baulichen und technischen Ausführung sind Minikreisverkehre eine sinnvoll einzusetzende Knotenpunktart. In der Praxis zeichnet sich jedoch ab, dass wegen der Vorteile hinsichtlich Flächenverbrauch und Kosten insbesondere auf Hauptverkehrsstraßen und in Ortsdurchfahrten wichtige Einsatzkriterien wie Erkennbarkeit und Kapazitätsgrenzen weniger beachtet werden. Des Weiteren ist eine recht uneinheitliche Anordnung bzw. Ausbildung von wichtigen Elementen wie Kreisinseln, Fahrbahnteilern und Fußgängerüberwegen anzutreffen.

Ein für Minikreisverkehre anwendbares Verfahren zur Beurteilung der Verkehrsqualität existiert dabei bisher nicht. Im Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (2006) wird die (ohne gesonderten Nachweis zu unterstellende) Kapazität von Minikreisverkehren mit 12 000 Kfz/24 h angegeben.

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. Dabei sollten auch die Auswirkungen unterschiedlicher Gestaltungsformen auf die Lärmemission berücksichtigt werden. Im Ergebnis sollten Einsatzbereiche und vor allem -grenzen von Minikreisverkehren sowie begründete Gestaltungsanforderungen an derartige Anlagen festgelegt und ein Verfahren zur Beurteilung der Verkehrsqualität an Minikreisverkehren beschrieben werden.

### 2 Untersuchungsmethodik

Die methodische Vorgehensweise und das sich hieraus ergebende Arbeitsprogramm sahen 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 zehn Fallbeispielen,
- Erhebung der Lärmbelastung an Minikreisverkehren mit unterschiedlichem Oberflächenbelag der befahrbaren Kreisinsel und
- Ableitung von Empfehlungen.

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

Da es kein "Adressbuch" der Minikreisverkehre in Deutschland gibt, musste in einem ersten Schritt eine möglichst umfassende Übersicht ausgeführter Minikreisverkehre erstellt werden. Dazu wurde eine bundesweite Recherche bei den zuständigen Bau- lastträgern/Verwaltungen mittels eines Kurzfragebogens durchgeführt. Abgefragt wurden dabei alle im jeweiligen Zuständigkeitsbereich ausgeführten Minikreisverkehre – insgesamt gab es 339 Nennungen – 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 konnte 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.

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 Einfalldaten als auch Verkehrsbelastungsdaten zu erhalten. Angestrebt wurde dabei eine Zusammensetzung der Fallbeispiele mit

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

Da ein wichtiger Sicherheitsaspekt von Minikreisverkehren die Erkennbarkeit des Knotenpunkts mit seiner Vorfahrtsregelung ist, wurden an 20 ausgewählten Minikreisverkehren zusätzlich detaillierte Vor-Ort-Analysen durchgeführt. Die Qualität der Erkennbarkeit wurde hierbei ebenso untersucht wie die Frage der Ausgestaltung der Fußgänger- und Radverkehrsführung sowie der Barrierefreiheiten.

Für die empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf wurden 10 Fallbeispiele ausgewählt, die möglichst hochbelastete Verkehrsanlagen darstellen. Dadurch konnte ein vergleichsweise großes Verkehrsstärkespektrum abgedeckt werden, da an hochbelasteten 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 hochbelasteten Bereiche als besonders aussagefähig anzusehen sind. Daher wurden nur Minikreisverkehre mit einem  $DTV \geq 15\,000$  Fz/24 h für die Erhebungen ausgewählt.

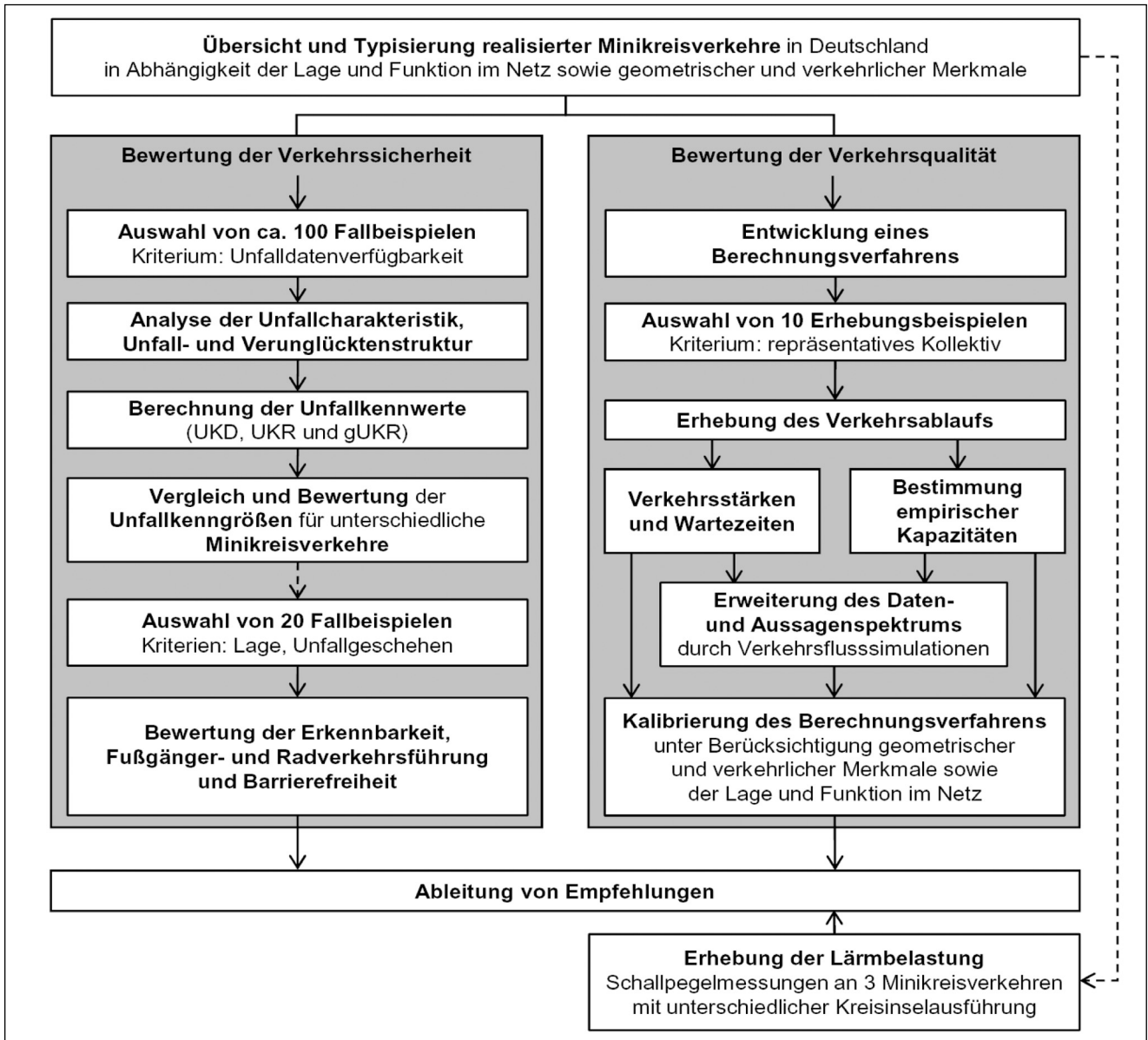


Bild 1: Untersuchungsablauf

In einem nächsten Schritt erfolgte die Analyse der Lärmbelastung. Hierzu wurden an drei ausgewählten Minikreisverkehren mit unterschiedlicher baulicher Gestaltung die Auswirkungen verschiedener Oberflächengestaltungen der befahrbaren Mittelinsel auf die Lärmemissionen überprüft.

### 3 Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Verkehrssicherheit

Minikreisverkehre haben sich im Ergebnis dieser Untersuchungen – auch im Vergleich mit möglichen “konkurrierenden” Knotenpunktarten – als sehr sichere Knotenpunktart erwiesen.

Fast die Hälfte der 104 untersuchten Minikreisverkehre weisen 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 (Tabelle 1).

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.

Tabelle 1: 3- und 4-armige Knotenpunkte an Hauptverkehrsstraßen nach Knotenpunktart mit Anzahl Unfälle,  $UKD_{K,M}$  und  $UKR_{K,M}$

Knotenpunktart	$n_K^*$ [-]	$n_U$ [U]	$UKD_{K,M}$ [1 000 €/a]	$UKR_{K,M}$ [€/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

Ein deutlicher Einfluss besonderer Umstände lässt sich über alle Unfälle nicht ableiten, aber an den zehn 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 nichtmotorisierte) 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.

### 3.2 Verkehrsqualität

Zur Untersuchung des Verkehrsablaufs wurden an 10 hochbelasteten Minikreisverkehren Verkehrsbeobachtungen mittels Videotechnik durchgeführt. Um ein möglichst repräsentatives Abbild typischer Gestaltungscharakteristika zu gewährleisten, wurden die Messstellen so gewählt, dass die Anzahl der Zufahrten, die Ausführung der Kreisinsel, die Lage in Abhängigkeit der verknüpften Straßenkategorien sowie die Größe der Anlagen in Form des Außendurchmessers in etwa dem Gesamtbild der 339 recherchierten Minikreisverkehre entsprachen. Anhand der Videoaufzeichnungen konnten jeweils für die Morgen- und Nachmittagsspitzenverkehrszeit alle für die Untersuchung des Verkehrsablaufs notwendigen Kenngrößen und Zeitwerte ausgewertet werden. Somit lagen für die Untersuchung des Verkehrsablaufs insgesamt Daten aus 20 Erhebungsstunden von zehn verschiedenen Minikreisverkehren vor.

Auf Basis dieser Daten wurden mit dem Regressions-, dem Zeitlücken- und dem Konfliktmatrixverfahren drei mögliche Ansätze zur Kapazitätsermittlung an Minikreisverkehren analysiert. Alle drei Berechnungsansätze basieren auf der für Kreisverkehre typischen Betrachtungsweise als Abfolge von Einmündungen mit Vorfahrtregelung. Die Ergebnisse der Videobeobachtungen zeigten, dass die zufahrtsweise Kapazitätsermittlung auch an Minikreisverkehren eine zulässige Vereinfachung darstellt, da sich die Verkehrsabläufe an den Minikreisverkehrszufahrten als weitgehend unabhängig voneinander darstellten.

Im Ergebnis zeigte die Auswertung der Verkehrsbeobachtungen an den untersuchten Minikreisverkehren eine deutliche Beeinflussung der in der Zufahrt wartenden Verkehrsteilnehmer durch die den Minikreisverkehr am selben Knotenarm verlassenden Fahrzeuge. Dieser Effekt ist auf die geringen Außendurchmesser von Minikreisverkehren und die damit in Zusammenhang stehenden kürzeren Distanzen zwischen den Konfliktpunkten der Ein- und Ausfahrten zurückzuführen. Eine solche Beeinflussung ist in Deutschland bisher nur an Minikreisverkehren beobachtet worden. Der beobachtete Beeinflussungsgrad ausfahrender Verkehrsteilnehmer wurde in den untersuchten Verfahrensansätzen berücksichtigt und 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 1200 Fz/h betragen sollte. Die Gegenüberstellung der Berechnungsansätze zeigte, dass die Zeitlückentheorie grundsätzlich am besten zur Beurteilung der Verkehrsqualität an Minikreisverkehren geeignet ist. Dabei wird die im HBS (2001) für Kreisverkehre angegebene Gleichung zur Bestimmung der Grundkapazität verwendet:

$$G = \left(1 - \frac{t_{\min} \cdot q_p}{3600}\right) \cdot \frac{3600}{t_f} \cdot e^{-\frac{q_p}{3600} \cdot \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{\min}\right)}$$

mit:

G	Grundkapazität der betrachteten Zufahrt	[Pkw-E/h]
$q_p$	bevorrechtigte Verkehrsstärke	[Pkw-E/h]
$t_{\min}$	Mindestzeitlücke zwischen den Fahrzeugen im Kreis = 2,5 s	[s]
$t_g$	Grenzzeitlücke = 4,7 s	[s]
$t_f$	Folgezeitlücke = 3,1 s	[s]

Die an den untersuchten Minikreisverkehren erhobenen Zeitlücken sind unmittelbar in den Erläuterungen der Variablen angegeben. Im Gegensatz zu früheren Untersuchungen konnte zwischen der Größe der Grenz-, Folge- sowie Mindestzeitlücken und den Außendurchmessern der Minikreisverkehre kein Zusammenhang nachgewiesen werden, weshalb die angegebenen Zeitlücken unabhängig vom Außendurchmesser gültig sind. Bei der Ermittlung der Grenzzeitlücken wurde festgestellt, dass die Ausfahrer die Größe der mittleren Grenzzeitlücke maßgeblich beeinflussen. Allgemein wird daher für Verfahren zur Grenzzeitlückenermittlung an Minikreisverkehren empfohlen, nur angenommene und abgelehnte Zeitlücken zu berücksichtigen, die nicht von ausfahrenden Fahrzeugen beeinflusst wurden, da sonst die mittlere Grenzzeitlücke überschätzt wird.

Der Einfluss der an einem Knotenarm ausfahrenden Fahrzeuge auf die in der Zufahrt desselben Knotenarms wartenden Verkehrsteilnehmer konnte durch Minimierung der Abweichung zwischen beobachteten und berechneten Kapazitäten mit 15 % des ausfahrenden Verkehrs quantifiziert werden. Dieser Einfluss wird bei der Ermittlung der bevorrechtigten Verkehrsstärke entsprechend berücksichtigt:

$$q_p = q_k + 0,15 \cdot q_a$$

mit:

$q_p$	bevorrechtigte Verkehrsstärke	[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]

Der kapazitätsmindernde Einfluss bevorrechtigter Fußgängerströme in der Zufahrt (Minikreisverkehre mit Fußgängerüberwegen) wurde durch mikroskopische Verkehrsflusssimulationen ermittelt und kann im Berechnungsverfahren durch die auf Basis der Simulationsergebnisse bestimmten Abminderungsfaktoren berücksichtigt werden:

$$C = f_f \cdot G$$

mit:

C	Kapazität der betrachteten Zufahrt	[Pkw-E/h]
$f_f$	Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung von bevorrechtigten Fußgängerströmen nach Bild 2 (sofern keine Fußgänger die Zufahrt queren, ist $f_f = 1$ )	[-]
G	Grundkapazität der betrachteten Zufahrt	[Pkw-E/h]

Der Vergleich der im Rahmen des Forschungsprojekts ermittelten Abminderungsfaktoren mit den im HBS (2001) angegebenen Werten zeigte, dass die bisher verwendeten Abminderungsfaktoren den kapazitätsmindernden Einfluss der Fußgänger unterschätzen. 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 eines StVO-konformen Verhaltens sollte in diesen Fällen aber auf eine Abminderung verzichtet werden.

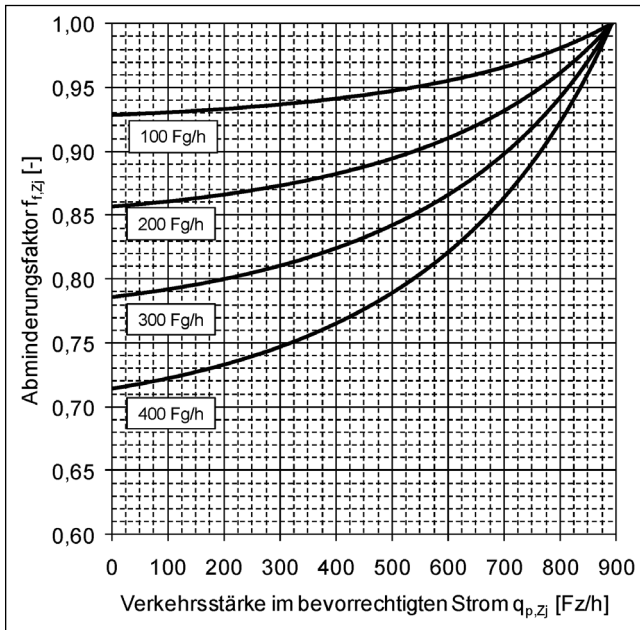


Bild 2: Abminderungsfaktor  $f_{r,zj}$  zur Berücksichtigung von bevorrechtigten Fußgängerströmen in Zufahrt j

Weiterhin ergaben die Ergebnisse der Verkehrsbeobachtungen und der mikroskopischen Verkehrsflussimulationen, 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 auf die Verkehrsverhältnisse an Minikreisverkehren angepasste Konfliktmatrixverfahren ermöglicht auch die Kapazitätsermittlung von Minikreisverkehrsausfahrten. Die Validierung dieses Berechnungsansatzes mittels mikroskopischer Verkehrsflussimulationen zeigte, dass im praxisrelevanten Einsatzbereich (bis zu 300 Fg/h in der Ausfahrt) dieser Ansatz zuverlässige Ergebnisse liefert. Bei höherem Fußgängerankommen 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 Ergebnissen führt und sich Verkehrsverhältnisse einstellen, welche mit deterministischen Berechnungsansätzen kaum abgebildet werden können (Rückstau in den Kreis). In diesen Belastungsbereichen bilden Simulationsuntersuchungen das bessere Werkzeug zur Beurteilung der Verkehrsqualität.

### 3.3 Lärmbelastung

Durch Schallpegelmessungen an drei ausgewählten Minikreisverkehren mit unterschiedlicher baulicher Gestaltung wurden die Auswirkungen von verschiedenen Oberflächengestaltungen der

befahrenen 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.

## 4 Folgerungen für die Praxis

Im Hinblick auf die Verkehrssicherheit sollte neben der grundlegenden Forderung nach Einhaltung der notwendigen Sichtfelder 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. Die Auswirkungen verschiedener Oberflächengestaltungen der Kreisinsel auf die Lärmemissionen lagen unterhalb des für das menschliche Ohr wahrnehmbaren Bereichs. Daher sollte bei der Wahl des Oberflächenbelags die Erkennbarkeit des Minikreisverkehrs im Vordergrund stehen.

Bezüglich der im Regelwerk geforderten einheitlichen Ausstattung der Minikreisverkehre mit Fahrbahnteilen 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 ergibt sich ein deutlicher Nachbesserungsbedarf.

Die Untersuchung des Verkehrsablaufs an Minikreisverkehren hat gezeigt, dass die überschlägige Aussage, dass die Summe der Konfliktströme an einer Zufahrt nicht über 1 200 Fz/h betragen sollte, grundsätzlich bestätigt werden kann. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass auch der am betrachteten Knotenarm ausfahrende Verkehr einen maßgeblichen Einfluss auf die Kapazität der Zufahrt aufweist. Für die detaillierte Beurteilung der Verkehrsqualität an Minikreisverkehren konnte auf Basis der Zeitlückentheorie ein gut geeignetes Verfahren entwickelt werden. Dieses Verfahren sollte Eingang in die HBS-Fortschreibung finden.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2006): Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, Köln
- [2] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2006): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen (RASt), Köln