

## Überprüfung von Kreisverkehren mit zweistreifig markierter oder einstreifig markierter, aber zweistreifig befahrbarer Kreisfahrbahn

FA 2.198

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswesen (Prof. Dr.-Ing. W. Brilon)

Bearbeiter: Bäumer, H.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: März 2003

### 1. Aufgabenstellung

Einstreifige kleine Kreisverkehre haben sich als eine sichere und leistungsfähige Knotenpunktform bewährt. Sie sind seit einigen Jahren Stand der Technik. Bei Verkehrsbelastungen von mehr als etwa 25 000 Fz/d reicht die Kapazität einstreifiger Kreisverkehre jedoch i. d. R. nicht mehr aus. Dann wird es erforderlich, die Kreisfahrbahn und teilweise auch die Zufahrten zweistreifig auszuführen. In der Vergangenheit wurden für solche zweistreifigen Kreisverkehre mit 100 m und mehr meist relativ große Außendurchmesser gewählt. Diese Plätze sind zwar leistungsfähig, sie weisen jedoch häufig Mängel in der Verkehrssicherheit auf. Eine relativ neue Knotenpunktform stellen zweistreifig befahrbare Kreisverkehre mit einem Außendurchmesser von 40 bis 60 m dar (zur Abgrenzung gegenüber großen Plätzen werden diese nachfolgend "kompakte zweistreifig befahrbare Kreisverkehre" genannt). Erste Entwurfshinweise zu kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren sind im Arbeitspapier Nr. 51 der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV 2000) zusammengefasst. Der Entwurf dieser Plätze weist große Ähnlichkeit zu modernen kleinen einstreifigen Kreisverkehren auf. Allerdings ist die Kreisfahrbahn mit etwa 8 bis 10 m so breit, dass Pkw nebeneinander fahren können. Nach den Vorgaben des Arbeitspapiers sollen auf der Kreisfahrbahn keine Fahrstreifen markiert sein. Die Zufahrten können ein- oder zweistreifig ausgeführt sein. Die Ausfahrten sind hingegen immer einstreifig. Ziel des Forschungsvorhabens war es, die wesentlichen Eigenschaften dieses neuen Kreisverkehrstyps zu ermitteln. Insbesondere wurden die Verkehrssicherheit und die Kapazität untersucht. Dazu wurden insgesamt 22 Knotenpunkte ausgewählt. Da kompakte zweistreifig befahrbare Kreisverkehre bei Beginn der Arbeiten jedoch noch nicht sehr verbreitet waren, mussten zwangsläufig auch solche Anlagen in das Untersuchungsfeld aufgenommen werden, die nur teilweise oder auch gar nicht den im Arbeitspapier Nr. 51 der FGSV beschriebenen Entwurfsmerkmalen entsprechen. Als Ergänzung zur Untersuchung kompakter zweistreifig befahrbare Kreisverkehre wurde die Analyse der Unfallsituation auch auf vier weitere Kreisverkehre ausgeweitet, an denen eine Vorsortierung der Verkehrsströme nach Fahrtrichtungen durch entsprechende Markierung auf der Kreisfahrbahn und in den Zufahrten vorgenommen wird. Des Weiteren wurden auch zehn einstreifige Kreisverkehre mit baulich getrennten direkt geführten Abbiegestreifen (Bypässe) untersucht.

### 2. Untersuchungsmethodik

Die Untersuchung von kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren erfolgte durch verschiedene Methoden. An zehn Kreisverkehren wurden halbtägige Videoaufnahmen des Verkehrsablaufes angefertigt. Diese Aufnahmen bilden die Grundlage für eine Reihe von Untersuchungen, z. B. zum Spurverhalten der Kraftfahrer in den Zufahrten und auf der Kreisfahrbahn, zur Untersuchung der Kapazität der Zu- und Ausfahrten

sowie zu Messungen von Wartezeiten. An einem Kreisverkehr wurde der Verkehrsablauf über mehrere Tage beobachtet. Zusätzlich wurden Geschwindigkeitsmessungen durchgeführt, und zwar an vier zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren in den Zufahrten und auf der Kreisfahrbahn sowie an vier Bypässen einstreifiger Anlagen.

Für die Unfalluntersuchung wurden für alle 22 zweistreifig befahrbaren Kreisverkehre sowie für die 14 Kreisverkehre mit Vorsortierung der Verkehrsströme bzw. mit Bypässen polizeilich erfasste Unfalldaten erhoben. Bei der Auswertung wurden Unfallzahlen und -kennwerte sowie Verteilungen nach Licht- und Witterungsverhältnissen und nach Unfalltypen und Unfallkategorien angegeben. Die Untersuchungszeiträume variieren je nach Datenverfügbarkeit. Teilweise konnten Vorher-Nachher-Vergleiche durchgeführt werden. An einigen Plätzen wurde die Unfalluntersuchung durch die Auswertung des Interaktionsverhaltens der Verkehrsteilnehmer ergänzt. Ziel dieser Untersuchungsmethode war die Herausstellung von konflikträchtigen Verkehrssituationen.

Mit einer im Umfeld von vier kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren durchgeführten schriftlichen Haushaltsbefragung wurden Erfahrungen, Einschätzungen und Verbesserungsvorschläge von Nutzern dieser Anlagen eingeholt. Des Weiteren wurden an zwei Kreisverkehren Testfahrten durchgeführt. Dazu wurden 20 Kraftfahrer ausgewählt, die die Anlagen jeweils mit ihren eigenen Fahrzeugen befuhren. Das Verhalten der Probanden wurde dabei aus dem Fahrzeug heraus auf Video aufgezeichnet und ausgewertet.

### 3. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchung der Verkehrssicherheit hat ergeben, dass kompakte zweistreifig befahrbare Kreisverkehre im Mittel für alle Verkehrsteilnehmergruppen eine sichere Knotenpunktform sind. Die durchschnittliche Unfallrate beträgt 0,70 Unfälle/10<sup>6</sup> Kfz. Damit liegt die Unfallrate im Bereich der Rate von modernen einstreifigen Kreisverkehren (in der Literatur werden Unfallraten von 0,5 bis 1,0 Unfälle/10<sup>6</sup> Kfz angegeben). Allerdings zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Untersuchungsstellen. An innerörtlichen Knotenpunkten treten mehr Unfälle als außerorts auf. Dadurch fällt die mittlere Unfallkostenrate innerorts höher aus, im Mittel (innerorts und außerorts) ergab sich eine Unfallkostenrate von 12 DM/10<sup>3</sup> Kfz. (Zum Vergleich: Für moderne einstreifige Kreisverkehre werden in der Literatur Unfallkostenraten von 11–20 DM/10<sup>3</sup> Kfz angegeben.) Grund für die niedrige mittlere Unfallkostenrate der zweistreifig befahrbaren Plätze ist vor allem die geringe durchschnittliche Unfallschwere. Die Untersuchung zeigte auch, dass Kreisverkehre mit ausschließlich einstreifigen Zufahrten sicherer sind als solche mit (teilweise) zweistreifigen Zufahrten. Insgesamt betrachtet ist das festgestellte Sicherheitsniveau kompakter zweistreifig befahrbarer Kreisverkehre im Mittel höher als an vergleichbaren Knotenpunkten mit Lichtsignalsteuerung. An den zusätzlich untersuchten Kreisverkehren mit Vorsortierung der Verkehrsströme nach Fahrtrichtungen durch entsprechende Markierung wurde überwiegend ein niedrigeres Sicherheitsniveau festgestellt. Grund dafür sind aber nicht schwerwiegendere Unfallfolgen, sondern höhere Unfallzahlen. Vor allem Anlagen, an denen direkt geführte Abbiegestreifen nur durch eine Fahrstreifenbegrenzungslinie (StVO Zeichen 295) von der Kreisfahrbahn abgetrennt sind, zeichnen sich durch eine hohe Unfalloffizierigkeit aus. An den ebenfalls untersuchten einstreifigen Kreisverkehren mit baulich getrennten Abbiegestreifen (Bypass) wurde entgegen den Er-

wartungen ein niedrigeres Sicherheitsniveau als an den kompakten zweistreifig befahrbaren Plätzen festgestellt. Grund dafür sind aber offenbar nicht die Bypässe; das Unfallgeschehen in den Bypässen ist unauffällig. Baulich getrennte Bypässe bedeuten daher kein Gefahrenpotenzial. Sie können durchaus unter Sicherheitsaspekten empfohlen werden.

Das Ergebnis der Auswertung des Interaktionsverhaltens der Verkehrsteilnehmer an kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren ist, dass vor allem Fahrstreifenwechsel auf der Kreisfahrbahn konfliktrichtig sind. Oftmals wurde innen im Kreis fahrenden Kraftfahrern der Wechsel nach außen von anderen Verkehrsteilnehmern absichtlich erschwert oder unmöglich gemacht. Dies gilt unabhängig von einer Markierung der Kreisfahrbahn. Weitere Konflikte im Bereich der Zufahrten resultierten aus Vorfahrtsverletzungen und aus dem zweistreifigen Einfahren. Konflikte zwischen Fußgängern oder Radfahrern und zu- oder ausfahrenden Fahrzeugen sind eher selten. Zu ihrer eigenen Sicherheit verhalten sich Fußgänger und Radfahrer bei unklaren Situationen unabhängig von den Verkehrsregeln meistens wie wartepflichtige Verkehrsteilnehmer. Zur Einordnung der Ergebnisse wurde die Arbeit von Risser et al. (1991) herangezogen. Nach der dort vertretenen Meinung können leichte Konflikte als Zeichen für Abstimmungsschwierigkeiten zwischen den Verkehrsteilnehmern gewertet werden. Schwere Konflikte deuten hingegen auf Unfallgefahren hin. Demnach kann die überwiegende Anzahl konfliktrichtiger Situationen an den hier untersuchten Kreisverkehren als Abstimmungsschwierigkeit gewertet werden. Gefährliche Situationen waren eher selten.

Bei der Auswertung der Videoaufnahmen des Verkehrsablaufes an kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren wurde festgestellt, dass viele Verkehrsteilnehmer in Kreisverkehren ohne Markierung auf der Kreisfahrbahn innen oder mittig fahren. Grund dafür ist, dass die Plätze so mit der geringsten Ablenkung, einer höheren Bequemlichkeit und einer höheren Geschwindigkeit durchfahren werden können. Eine Markierung der Kreisfahrbahn erhöht die Auslastung des äußeren Fahrstreifens. Dennoch fährt auch dann noch ein Teil der Kraftfahrer in der Mitte. Dass die Ablenkung durch die Kreisinsel an diesen kompakten Plätzen ausreichend ist, konnte durch Geschwindigkeitsmessungen in den Zufahrten und auf der Kreisfahrbahn festgestellt werden. Die Geschwindigkeit  $V_{85}$  beträgt etwa 40 m vor dem Kreis durchschnittlich 50 km/h. Auf der Kreisfahrbahn wurde eine durchschnittliche  $V_{85}$  von 30 km/h ermittelt. Insgesamt kann das Geschwindigkeitsniveau daher als niedrig bezeichnet werden. Besonderes Merkmal der hier untersuchten Kreisverkehre ist, dass der linke Fahrstreifen in zweistreifigen Zufahrten nur sehr wenig genutzt wird. Wie auch die Ergebnisse der Meinungsumfrage zeigen, bestehen bei den Verkehrsteilnehmern durchaus Vorbehalte gegen die Benutzung des linken Zufahrtstreifens. Sowohl das zweistreifige Zufahren als auch der erforderliche Fahrstreifenwechsel auf der Kreisfahrbahn verlangen erhöhte Aufmerksamkeit und ein gewisses Können. Wenn möglich, meiden daher viele Kraftfahrer diese Situation.

Bei der Untersuchung der Kapazität von ein- und zweistreifigen Zufahrten zu kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren wurde festgestellt, dass die im HBS (FGSV 2001) enthaltenen Berechnungsverfahren für diese Knotenpunktform angepasst werden müssen. Die Auswertungen zeigten, dass die Kapazität einstreifiger Zufahrten durch das Verfahren des HBS geringfügig unterschätzt wird. Die im HBS angegebene Kapazitätsformel wurde daher an die hier ermittelten Messwerte angepasst. Eine deutlich zu hohe Kapazität gibt das im HBS enthaltene Berechnungsverfahren hingegen für zweistreifige Zufahrten zu kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren an. Dieses an großen Kreisverkehren geeichte Verfahren kann

nicht auf die kompakten Kreisverkehre übertragen werden, weil der linke Zufahrtstreifen zu gering ausgelastet wird. Dadurch ist die Kapazität der zweistreifigen Zufahrt deutlich geringer. Die Auswertungen des Verkehrsablaufes haben gezeigt, dass der linke Zufahrtstreifen in erster Linie von Linksabbiegern genutzt wird. Daher wurde auf empirischer Basis eine Formel angegeben, mit der die Berücksichtigung des linken Fahrstreifens in zweistreifigen Zufahrten in Abhängigkeit von dem Anteil der Linksabbieger in der betrachteten Zufahrt geschätzt werden kann. Ein Einfluss der Markierung der Kreisfahrbahn auf die Kapazität der Zufahrten konnte weder bei den ein- noch bei den zweistreifigen Zufahrten festgestellt werden.

An sechs Zufahrten zu kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren wurden die Wartezeiten stichprobenartig gemessen und mit berechneten Wartezeiten verglichen. Für die Berechnung wurde das Verfahren von Kimber und Hollis (1979) verwendet. Die Ergebnisse zeigen, dass die berechneten Wartezeiten systematisch größer sind als die gemessenen. Als Ursachen für diese Differenzen sind Ungenauigkeiten bei der Messung der Wartezeiten oder auch eine begrenzte Gültigkeit der Formel zu vermuten. In den meisten Fällen waren die Abweichungen absolut gesehen jedoch gering. Der Test konnte nicht auf die eigentlich wichtigen Bereiche ausgedehnt werden, weil solche Situationen nicht anzutreffen waren. Daher wird empfohlen, bis zum Vorliegen neuer Erkenntnisse die mittleren Wartezeiten an Zufahrten zu kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren mit der Formel von Kimber, Hollis und mit den angepassten Kapazitätsgleichungen zu schätzen.

Die Untersuchung von zehn Ausfahrten durch ein empirisches Verfahren ergab relativ einheitliche und hohe Schätzwerte für die Kapazität von 1 500 bis 1 600 Pkw-E/h. Angesichts der angewendeten Methode ist diese Größenordnung als Obergrenze der erreichbaren Kapazität anzusehen. Ein Einfluss der Geometrie der Anlagen (z. B. der Außendurchmesser) konnte aus den zur Verfügung stehenden Daten nicht abgeleitet werden. Die Ergebnisse führen zu dem Schluss, dass die im HBS genannte Grenze für die Kapazität von Ausfahrten von 1 400 Pkw-E/h für die hier untersuchten kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehre eine Funktionsfähigkeit der Anlage gewährleistet. Voraussetzung dafür ist, dass kein oder nur minimaler Fußgänger- und Radverkehr die Ausfahrt quert.

Bei der Auswertung der Meinungsumfrage konnte eine überwiegend positive Einstellung zu den kompakten zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren festgestellt werden. Allerdings bereitet die Zweistreifigkeit der Anlagen teilweise Schwierigkeiten bei der Benutzung. Als konfliktrichtig wurden in erster Linie das zweistreifige Fahren auf der Kreisfahrbahn und das Ausfahren (d. h. der Fahrstreifenwechsel vor den Ausfahrten) genannt. Die Einschätzungen und Meinungen zu den einzelnen Plätzen lassen jedoch vermuten, dass der Umgang mit zweistreifigen Kreisverkehren bei längerer Gewöhnung sicherer wird. Dafür spricht die Bewertung des Kreisverkehrs Idar-Oberstein, der mit neun Jahren am längsten von allen untersuchten Plätzen in Betrieb ist. Im Zuge der Testfahrten wurden wesentliche Ergebnisse der vorherigen Untersuchungsschritte bestätigt. Dies betrifft vor allem die Wahl des Fahrstreifens in zweistreifigen Zufahrten und des Fahrweges auf der Kreisfahrbahn. Der einzige Verkehrskonflikt mit anderen Verkehrsteilnehmern wurde bei einem Fahrstreifenwechsel auf der Kreisfahrbahn beobachtet. Diese Situation ist offenbar typisch für diese Knotenpunktform.

#### **4. Folgerungen für die Praxis**

Zweistreifig befahrbare Kreisverkehre sind sichere und leistungsfähige Knotenpunkte. Das hier festgestellte Sicherheitsniveau ist im Mittel höher als an vergleichbaren Lichtsignalge-

steuerten Knotenpunkten. Besonderer Vorteil der Kreisverkehre ist dabei eine systematisch geringere Unfallschwere. Die Untersuchungsergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass das Verkehrssicherheitsniveau vor allem dann besonders hoch ist, wenn nur wenig oder gar kein Fußgänger- und Radverkehr vorhanden ist. Zusätzlich zu den zweistreifig befahrbaren Kreisverkehren wurde auch das Unfallgeschehen an Kreisverkehren mit Vorsortierung der Verkehrsströme nach Fahrtrichtungen und an Kreisverkehren mit baulich getrennten Abbiegestreifen (Bypässe) untersucht. Das an diesen Anlagen festgestellte Sicherheitsniveau ist überwiegend niedriger als an den kompakten zweistreifig befahrbaren Plätzen. Es hat sich gezeigt, dass Markierungen – vor allem Fahrstreifenbegrenzungslinien – von vielen Verkehrsteilnehmern nicht beachtet werden. Baulich getrennte Bypässe bedeuten hingegen kein Sicherheitsrisiko.

Was die Kapazität kompakter zweistreifig befahrbarer Kreisverkehre angeht, so ist davon auszugehen, dass – je nach Aufteilung der einzelnen Verkehrsströme und Bypässe – Verkehrsbelastungen von bis zu 32 000 Kfz/d abgewickelt werden können. Das bedeutet, dass die Kapazität dieser Anlagen deutlich höher ist als die kleiner einstreifiger Kreisverkehre. Zu beachten ist jedoch auch, dass die Kapazität von großen durchgehend zweistreifigen Kreisverkehren (d. h. zweistreifige Zufahrten, zweistreifige Kreisfahrbahn, zweistreifige Ausfahrten), die – theoretisch ermittelt – ihre Grenze bei ca. 40 000 Kfz/d erreichen, auch unter günstigen Bedingungen nicht erreicht wird. Für die Ermittlung der Kapazität kompakter zweistreifig befahrbarer Kreisverkehre wird ein rechnerisches Schätzverfahren vorgeschlagen.

Für die bauliche Ausführung sollen die von der FGSV (1998 und 2000) angegebenen Empfehlungen möglichst genau beachtet werden. Darüber hinaus wird Folgendes für erforderlich gehalten:

- Wenn möglich, soll die Größe des Außendurchmessers eher im Bereich der Obergrenze (60 m) gewählt werden. Es ist davon auszugehen, dass sich die dadurch verlängerte Fahrtzeit der Verkehrsteilnehmer auf der Kreisfahrbahn positiv auf die Sicherheit auswirkt. Ein höheres Geschwindigkeitsniveau ist dabei nicht zu befürchten.
- Die Breite der Kreisfahrbahn soll mindestens 8 m und maximal 10 m betragen. Eine über 8 m hinaus gehende Breite

hat jedoch keinen Nutzen für die Sicherheit und den Verkehrsablauf. Größere Breiten als 8 m kommen deshalb nur bei örtlich besonderen Anforderungen (z. B. überwiegender Schwerverkehr, Langholztransporte etc.) in Betracht.

- Aus Gründen der Verkehrssicherheit sollen die Zufahrten nur dann 2-streifig ausgeführt werden, wenn dies aus Kapazitätsgründen unbedingt erforderlich ist. Um die Auslastung des linken Zufahrtstreifens zu erhöhen, kann bei zuvor einstreifigen Zulaufstrecken der zweite Fahrstreifen auch rechts addiert werden.
- Auf eine Markierung der Kreisfahrbahn soll prinzipiell verzichtet werden, damit der Eindruck einer gemeinsamen Verkehrsfläche erzeugt wird, auf der die Verkehrsteilnehmer gegenseitige Rücksicht nehmen und sich verständigen müssen. Es wird davon ausgegangen, dass sich dies positiv auf die Verkehrssicherheit des Kreisverkehrs auswirkt. Gegen eine Markierung spricht auch § 7, Abs. 2 der StVO: Dort wird ein Fahrstreifen als der Teil der Fahrbahn definiert, der von mehrspurigen Fahrzeugen zum ungehinderten Fahren benötigt wird. Auf einer 8–10 m breiten zweistreifig markierten Kreisfahrbahn reicht aber zumindest für große Fahrzeuge die Breite eines Fahrstreifens nicht aus.
- Es wird empfohlen, in die StVO § 9a, Kreisverkehr, als zusätzliche Bestimmung aufzunehmen: "Überholen im Kreis ist nicht zugelassen." Es hat sich sowohl bei der Unfalluntersuchung als auch bei allen Beobachtungen und Befragungen als vorrangiges Problem der zweistreifig befahrbaren Kreisverkehre gezeigt, dass das gesamte Konfliktpotenzial aus versuchten Überholungen und Rivalitäten beim Fahrstreifenwechsel entsteht. Ein Überholverbot würde ein kooperatives Verhalten hervorrufen, mit der Folge einer höheren Sicherheit und besseren Kapazitätsauslastung. Die Konsequenzen daraus lassen sich letztlich erst nach einer Einführung beurteilen.
- Zu beachten ist auch, dass neu in Betrieb genommene Verkehrsanlagen bei den Verkehrsteilnehmern immer eine gewisse Eingewöhnungszeit erfordern. Insofern wird von der weiteren Verbreitung auch eine noch bessere Sicherheit und Verkehrsqualität erwartet. □