

Weiterentwicklung des Verfahrens zur Bewertung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage

FA 2.277

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, M. M./Enke, M./Maier, R./Schmotz, M.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: August 2011

1 Aufgabenstellung

An Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage kann die Vorfahrt mit Verkehrszeichen oder nach der Grundregel "rechts vor links" geregelt sein. Kreuzungen oder Einmündungen, an denen dem Verkehr an einer durchgehenden Straße durch Zeichen 301 oder 306 StVO die Vorfahrt gegeben wird, sind als Standardfälle anzusehen. Knotenpunkte mit abknickender Vorfahrt, Knotenpunkte mit der Regelungsart "rechts vor links" und Kreisverkehre wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens nicht untersucht.

Bislang werden Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage nach der Zeitlückentheorie bemessen, so auch mit dem Verfahren im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS (2001) [1]. Dieses Verfahren für vorfahrtbeschilderte Einmündungen und Kreuzungen basiert auf den Ergebnissen von Grossmann (1991) [2]. Die im HBS zugrunde gelegten Grenzzeitlücken t_g und Folgezeitlücken t_f wurden von Weinert (2001) [3] an 30 Außerorts- und 5 Innerortsknotenpunkten ermittelt. Mit dem Verfahren nach HBS (2001) werden bisher nur Kraftfahrzeuge und Radfahrer, soweit sie im Kfz-Strom mitfahren, berücksichtigt. Nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer können an unsignalisierten innerörtlichen Knotenpunkten jedoch einen maßgeblichen Einfluss auf den Verkehrsablauf des Kraftfahrzeugverkehrs haben, da nach § 9 StVO abbiegende Fahrzeuge querende Fußgänger und parallel zur Hauptrichtung fahrende Radfahrer beachten und ihnen die Vorfahrt gewähren müssen. Dies wird in dem bislang verwendeten Verfahren nicht berücksichtigt. Das von Brilon/Miltner (2003) [4] entwickelte Konfliktmatrix-Verfahren ist darauf ausgelegt, alle Verkehrsteilnehmer zu berücksichtigen. Die Grundidee besteht in der Weiterentwicklung des Verfahrens nach Gleue (1972) [5]. Danach wird der Knotenpunkt in Konfliktflächen, auf denen sich konkurrierende Verkehrsströme überschneiden (kreuzen), aufgeteilt. Die Kalibrierung des Konfliktmatrix-Verfahrens basierte bislang auf einer begrenzten Datengrundlage, die vor einer möglichen Aufnahme des Verfahrens in das Technische Regelwerk (Fortschreibung des HBS) hinsichtlich ihres Umfangs erweitert werden sollte.

Zielsetzung dieses Projekts war zunächst die Überprüfung des Konfliktmatrix-Verfahrens im Hinblick auf seine Eignung als Grundlage zur Verkehrsqualitätsbewertung von Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage und im Falle der Eignung eine Validierung und Weiterentwicklung. Sollte sich das Konfliktmatrix-Verfahren als ungeeignet für die Bewertung von Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage erweisen, sollte für das bisherige Verfahren nach HBS (2001) eine Anpassung auf Innerortsknotenpunkte unter Berücksichtigung von Fußgängern und Radfahrern geprüft werden.

2 Untersuchungsmethodik

Zur Analyse des Verkehrsablaufs an Innerortsknotenpunkten wurden zunächst 19 innerörtliche Kreuzungen und Einmündungen mithilfe von Videotechnik beobachtet und die Daten, die als Basis zur Beschreibung des Verkehrsablaufs geeignet sein können, ausgewertet. Für alle Ströme des motorisierten und nichtmotorisierten Verkehrs an den Knotenpunkten wurden die Querungszeiten an zuvor definierten Querschnitten bestimmt. Aus diesen Daten ließen sich alle weiteren erforderlichen Kenngrößen ableiten. Während für die Fahrzeuge der Hauptrichtung nur jeweils der Einfahr- und Ausfahrzeitpunkt bestimmt wurde, liegen für die Fahrzeuge der Nebenrichtung die Zeiten für die Ankunft am Warteschlangenende sowie in erster Warteposition und das Verlassen der ersten Warteposition vor. Daraus kann bestimmt werden, welche Zeitlücke im bevorrechtigten Strom ein wartepflichtiges Fahrzeug genutzt hat, um in den Knotenpunkt einzufahren.

Für die Betrachtung des Fußgängereinflusses wurden weitere fünf Knotenpunkte mit hohen Fußgängerverkehrsstärken untersucht.

Im ersten Teil der Untersuchung wurden aus den erhobenen Daten unter Verwendung des Verfahrens nach Kyte (1991) [6] die Kapazitäten der untergeordneten Knotenströme bestimmt. Diese basieren auf den Warte- und Aufrückzeiten der beobachteten Fahrzeuge. Diese empirischen Kapazitäten dienen als Vergleichs- und Kalibrierungsgröße für die Überprüfung des Konfliktmatrix-Verfahrens. Um auch Veränderungen in den berechneten Kapazitäten gegenüber dem Zeitlückenverfahren des HBS (2001) betrachten zu können, wurden nach dem Zeitlückenverfahren bestimmte Kapazitätswerte als weitere Vergleichsgröße für die Betrachtungen hinzugezogen. Einflüsse aufgrund der Vorfahrtregelung (Zeichen 205 oder 206 StVO) oder durch separate Rechtsabbiegefahrstreifen wurden dabei berücksichtigt.

Abweichend von dem Verfahren des HBS (2001) erfolgte die Berücksichtigung der Wahrscheinlichkeit des rückstaufreien Zustands bei Mischfahrstreifen in der Hauptstraßenzufahrt nach dem Ansatz von Harders (1968) [7].

Für die Berechnungen mit dem Konfliktmatrix-Verfahren wurden im ersten Schritt die in Miltner (2003) [8] beschriebenen Zeitbedarfswerte verwendet, welche im weiteren Untersuchungsverlauf auf die untersuchten Knotenpunkte angepasst wurden.

Für die Bestimmung der genutzten Zeitlücken wurden in Abhängigkeit des betrachteten wartepflichtigen Knotenstroms unterschiedliche Messquerschnitte betrachtet, welche in Anlehnung an die Untersuchung von Weinert (2001) definiert wurden. Für die Bestimmung der Grenzzeitlücken wurde das Maximum-Likelihood-Verfahren verwendet. Grundlagen dieses Verfahrens bildeten die angenommenen und größten abgelehnten Zeitlücken der wartepflichtigen Fahrzeuge. In Anlehnung an Weinert (2001) wurden für die Bestimmung der Grenzzeitlücken ausschließlich "gaps", also die Zeitlücken zwischen Hauptstromfahrzeugen bei gleichzeitiger Anwesenheit eines Nebenstromfahrzeugs, betrachtet. Die Restzeitlücken (lags), welche zwischen der Ankunftszeit des Nebenstromfahrzeugs in erster Position und dem ersten Hauptstromfahrzeug auftreten, wurden also nicht berücksichtigt.

Den Folgezeitlücken lagen nur diejenigen Zeitwerte von Fahrzeugen des Nebenstroms zugrunde, welche zuvor im Rückstau standen. Fuhren diese Fahrzeuge in dieselbe Hauptstromlücke wie das vorausfahrende Fahrzeug ein, wurde für dieses Fahrzeug die (Folge-) Zeitlücke als zeitlicher Abstand des betrachteten zum vorausfahrenden Fahrzeug bestimmt.

gerverkehrsstärke. Dies trifft in der Realität aber nur bedingt zu, da mit zunehmender Fußgängerkehrsstärke der Anteil der gleichzeitig querenden Fußgänger steigt. Für die Berücksichtigung dieses Einflusses hat sich die Verwendung des Abminderungsfaktors f_f , welcher in Abhängigkeit der Fußgängerkehrsstärke bestimmt wird, als geeigneter Ansatz herausgestellt. Die Beobachtungen an Knotenpunkten mit unterschiedlichen Fußgängerkehrsstärken haben gezeigt, dass der Fußgänger-einfluss besser mit einer negativen Exponentialverteilung beschrieben werden kann.

$$f_f(q_{FG}) = e^{-\frac{q_{FG}}{3600} \cdot 2,88} \quad (Gl. 3)$$

q_{FG} Fußgängerkehrsstärke des betrachteten Stroms [FG/h]

$f_f(q_{FG})$ Faktor zur Berücksichtigung des Auftretens von Fußgängern in Gruppen in Abhängigkeit der Fußgängerkehrsstärke des betrachteten Stroms [-]

Die Art der hier vorgeschlagenen Berücksichtigung bevorrechtigter Fußgängerströme beschreibt deren Einfluss näherungsweise. Die in Brilon/Miltner (2003) beschriebenen Zirkelabhängigkeiten zwischen den Knotenströmen bei der Kapazitätsberechnung unter Einbeziehung von Fußgängern lassen sich nur mit einer Erweiterung der Rangordnung, welche dem Zeitlückenverfahren zugrunde liegt, abbilden. Eine solche Erweiterung führt zu einer deutlich höheren Komplexität des Berechnungsverfahrens, welche aber nicht zu einer entsprechenden Verbesserung der Berechnungsgenauigkeit führt. Auch vor dem Hintergrund eines von verschiedenen Faktoren beeinflussten Querungsverhaltens der Fußgänger (z. B. Verzicht auf Vorrang gegenüber abbiegenden Fahrzeugen) kann eine solche Modifikation des Berechnungsverfahrens nicht als praxistauglich angesehen werden.

3.3 Grenz- und Folgezeitlücken

Es wurde der Einfluss verschiedener Kriterien auf die ermittelten Grenz- und Folgezeitlücken überprüft. Grundlage dieser Überprüfung waren die mittleren Zeitlückenwerte für jede wartepflichtige Fahrbeziehung. Die Mittelwerte wurden dabei über alle Knotenströme der jeweiligen Fahrbeziehung bestimmt. Eine Mittelung über die Einzelwerte der beobachteten Fälle (Fahrzeuge) des Gesamtkollektivs, ohne Unterscheidung nach den Knotenpunkten, hätte zu einer unzutreffenden Gewichtung von örtlichen Besonderheiten geführt. Aufgrund der unterschiedlichen Häufigkeit von beobachteten Fällen wären Kriterien von Knotenpunkten mit einem großen Datenkollektiv im Vergleich zu denen mit wenigen Datensätzen zur Bestimmung von t_g und t_f zu stark berücksichtigt worden.

Aus den Untersuchungen ergibt sich für die Folgezeitlücken der Knotenströme der Nebenrichtung ein signifikanter Einfluss aus der Art der Vorfahrtregelung. Dieser Einfluss ist bei der Kapazitätsberechnung zu berücksichtigen. Die Empfehlung für die anzuwendenden Zeitlückenwerte sieht deshalb für die Folgezeitlücken der Nebenströme eine Unterteilung in Abhängigkeit der Art der Vorfahrtregelung vor (Tabelle 1).

Tabelle 1: Grenz- und Folgezeitlücken

Ströme	Nr.	t_g	t_f	
			Z205	Z206
Linksabbieger 1	1 7	5,5	2,8	
Rechtseinbieger	6 12	5,9	3,0	3,9
Kreuzen aus der Nebenrichtung	5 11	6,7	3,3	3,8
Linkseinbieger	4 10	6,5	3,2	3,8

Gegenüber der Verwendung der Grenz- und Folgezeitlücken nach HBS (2001) ergeben sich aus den ermittelten Zeitwerten (Tabelle 1) vor allem bei geringen bis mittleren maßgebenden Hauptstromkehrsstärken Unterschiede in den Verläufen der Kapazitätsfunktionen der wartepflichtigen Knotenströme. Grund dafür sind die im Vergleich zu den Grenzzeitlücken größeren Veränderungen der Folgezeitlücken gegenüber den Werten des HBS (2001). Bei geringen Verkehrsstärken in den bevorrechtigten Strömen treten vor allem große Zeitlücken auf. Nimmt die Verkehrsstärke zu, werden die Lücken im Hauptstrom kürzer und damit verringert sich die Zahl der in einer Zeitlücke möglichen Folgevorgänge. Der Einfluss der Grenzzeitlücken auf die Kapazitätsberechnung nimmt zu.

4 Folgerungen für die Praxis

Folgende Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Bewertungsverfahrens der Verkehrsqualität für Knotenpunkte ohne Lichtsignalanlage werden auf Basis der Ergebnisse gegeben:

- Das Zeitlückenverfahren mit Modifikationen wird als Grundlage zur Beurteilung der Verkehrsqualität an innerörtlichen Knotenpunkten mit Vorfahrtregelung empfohlen. Dieses Verfahren verbindet die Vorteile der Zeitlückentheorie und des Konfliktmatrix-Verfahrens. Insbesondere die Bestimmung des Einflusses durch Rückstau in den bevorrechtigten Knotenströmen ist durch die Beschreibung von Konfliktflächen und deren Belegung einfacher darstellbar.
- Die neu berechneten Grenz- und Folgezeitlücken wurden an insgesamt 19 innerörtlichen Knotenpunkten bestimmt und werden deshalb als besser repräsentativ für innerstädtische Knotenpunkte angesehen.
- Es sollten nach der Art der Vorfahrtregelung differenzierte Folgezeitlücken Verwendung finden. Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Verwendung größerer Folgezeitlücken bei Zeichen 206 das Abflussverhalten realistischer beschreibt.
- Die Berücksichtigung des Einflusses bevorrechtigter Fußgänger kann durch Verwendung von Abminderungsfaktoren erfolgen. Grundlage dieser Faktoren ist der Zusammenhang zwischen der Fußgängerkehrsstärke und dem Belegzeitanteil der jeweiligen Konfliktflächen, welcher durch eine negative Exponentialverteilung beschrieben wird.

5 Schlussbemerkung

Die Untersuchung hat gezeigt, dass das Konfliktmatrix-Verfahren prinzipiell für die Bestimmung von Knotenstromkapazitäten an vorfahrtgeregelten Knotenpunkten Anwendung finden kann. Die dem Verfahren zugrunde liegenden Zeitbedarfswerte sind aber nicht in situ messbar, sondern lediglich über Vergleichsgrößen (z. B. die Kapazität) anzupassen. Dazu kommt die Notwendigkeit zur Berücksichtigung der Rückstaufreiheit in bevorrechtigten Knotenströmen in Abhängigkeit der Linksabbiegerführung. Die Implementierung dieses Einflusses in das Konfliktmatrix-Verfahren führt zu einer im Vergleich zum Zeitlückenverfahren höheren Komplexität des Berechnungsalgorithmus. Darin sowie in den Problemen bei der Bestimmung valider Zeitbedarfswerte bestehen Nachteile gegenüber dem etablierten Verfahren des HBS (2001).

Die Untersuchung hat andererseits gezeigt, dass die Vorteile des Konfliktmatrix-Verfahrens, wie Berücksichtigung der Fußgänger und die Einbeziehung des Grads der Bevorrechtigung (A_{ij}) auch mit dem Zeitlückenverfahren realisiert werden können. Diese Gründe haben zur Empfehlung für das Zeitlückenverfahren mit Modifikationen geführt. Durch die Modifikationen und die neu eingeführte Beschreibung der Zeitlückenwerte über die Belegzeit von Konfliktflächen werden die Zusammenhänge des Verkehrsablaufs an Vorfahrtknotenpunkten anschaulicher und besser nachvollziehbar beschrieben.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2001, überarb. Fassung 2005): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Köln
- [2] Grossmann, M. (1991): Methoden zur Berechnung und Beurteilung von Leistungsfähigkeit und Verkehrsqualität an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage. – Schriftenreihe Lehrstuhl für Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum, Heft 9, Bochum
- [3] Weinert, A. (2001): Grenz- und Folgezeitlücken an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage. – Schriftenreihe Lehrstuhl für Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum, Heft 23, Bochum
- [4] Brilon, W.; Miltner, T. (2003): Verkehrsqualität unterschiedlicher Verkehrsteilnehmerarten an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage. – Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Verkehrstechnik, Heft V 100, Bergisch Gladbach
- [5] Gleue, A. (1972): Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung signal geregelter Knotenpunkte. – Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 136, Bonn
- [6] Kyte, M. (1991): Capacity and delay characteristics of two-way stop-controlled intersections. – Transportation Research Record, Heft 1320 (1991), S. 160–167, Washington D.C.
- [7] Harders, J. (1968): Die Leistungsfähigkeit nicht signal geregelter städtischer Verkehrsknoten, Hannover
- [8] Miltner, T. (2003): Verkehrsqualität an vorfahrtgeregelten Innerortsknotenpunkten. Schriftenreihe Lehrstuhl für Verkehrswesen Ruhr-Universität Bochum, Heft 27, Bochum
- [9] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1991): Merkblatt zur Berechnung der Leistungsfähigkeit von Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlagen, Köln
- [10] Wu, N. (2009): Procedure at two-way stop-controlled intersections – extensions and modifications, Bochum