

Kapazität und Verkehrsqualität an verkehrabhängig gesteuerten und koordinierten Lichtsignalanlagen

FA 3.495

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswesen – Planung und Management (Prof. Dr.-Ing. J. Geistefeldt)

Bearbeiter: Geistefeldt, J. / Giuliani, S. / Vieten, M. / Dias Pais, S.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: Dezember 2015

1 Aufgabenstellung

Die Bewertung der Verkehrsqualität an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlagen erfolgt in Deutschland nach dem Verfahren im "Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen" (HBS) (FGSV, 2001, 2015). Das maßgebende Kriterium für die Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs ist die Wartezeit. Das Verfahren nach HBS eignet sich für die Schätzung der Wartezeiten an Anlagen mit Festzeitsteuerungen, die nach den "Richtlinien für Lichtsignalanlagen" (RiLSA) (FGSV, 2015) entworfen wurden. Darüber hinaus enthält das HBS, Ausgabe 2015, erstmals auch ein Verfahren für die Ermittlung der Wartezeit an koordiniert gesteuerten Lichtsignalanlagen, das auf dem Ansatz des "Highway Capacity Manual" (HCM 2010) (TRB, 2010) basiert, allerdings bislang nicht für deutsche Verkehrsverhältnisse kalibriert ist. Eine Bewertung der in der Praxis häufig eingesetzten verkehrabhängigen Steuerungsverfahren für Lichtsignalanlagen ist mit dem HBS bislang nicht möglich. Wie für koordinierte Steuerungen existieren jedoch auch für verkehrabhängige Steuerungen auf internationaler Ebene erprobte Verfahren zur Ermittlung von Wartezeiten. Ziel der Untersuchung war es, diese Wartezeitmodelle hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für deutsche Verkehrsverhältnisse zu analysieren und gegebenenfalls für die Anwendung in den nationalen Bemessungsverfahren weiterzuentwickeln und zu kalibrieren.

2 Untersuchungsmethodik

Grundlage für die Analyse der Berechnungsmodelle zur Schätzung von Wartezeiten bildeten umfassende empirische Erhebungen. Das Untersuchungskollektiv setzte sich aus fünf Straßenzügen mit koordiniert festzeitgesteuerten Lichtsignalanlagen, zehn Abschnitten zwischen benachbarten koordinierten Lichtsignalanlagen und zehn Einzelknotenpunkten mit verkehrabhängiger Lichtsignalsteuerung zusammen.

An den Straßenzügen wurden die verkehrlichen Kenngrößen Wartezeit und Anzahl der Halte über zwei Zeiträume von jeweils zwei Stunden mit GPS-Befahrungen erhoben. Zusätzlich wurden in den Messzeiträumen die Fahrtzeiten der Fahrzeuge zwischen dem ersten und letzten koordiniert gesteuerten Knotenpunkt gemessen. An Abschnitten zwischen benachbarten Knotenpunkten mit koordinierten Lichtsignalanlagen wurden ebenfalls die Fahrtzeiten aller Fahrzeuge erhoben. Die Straßenzüge umfassten jeweils acht bis zehn Knotenpunkte. Die Lichtsignalanlagen von drei der fünf Straßenzüge waren an einen zentralen Verkehrsrechner angeschlossen. Über den Verkehrsrechner konnten die Verkehrsstärken in allen Zufahr-

ten aufgezeichnet werden. Die Verkehrsstärken der Straßenzüge mit dezentral gesteuerten Lichtsignalanlagen wurden aus eigenen Messungen sowie mithilfe von Planungsunterlagen und Zählraten der Behörden ermittelt.

An den zehn verkehrabhängig gesteuerten Einzelknotenpunkten wurden in Zeiträumen von vier bis zehn Stunden Fahrtzeiten aller Verkehrsströme erhoben. Zur Schätzung von Wartezeiten ist die Kenntnis der mittleren Signalzeiten während des Messzeitraums notwendig. Dafür wurden nach Möglichkeit die Schaltvorgänge der Steuergeräte protokolliert und ausgewertet. In den Fällen, in denen keine Protokollierung erfolgen konnte, wurden die Signalzeiten aus Videoaufzeichnungen ausgewertet.

Alle empirisch analysierten Knotenpunkte und Straßenzüge wurden zusätzlich in mikroskopischen Simulationsmodellen nachgebildet. Nach Möglichkeit wurden bereits bestehende Simulationsmodelle von den Signalbauunternehmen für die Analyse genutzt oder für die Simulation geeignete Steuerungsdateien von den Herstellern beschafft. Dadurch wurde gewährleistet, dass die realen Steuerungsalgorithmen für die Simulationen verwendet werden konnten.

Anhand von Laborobjekten wurden vor der Untersuchung der realen Untersuchungsstellen umfangreiche Simulationsstudien durchgeführt. In den Laborobjekten wurden nur die für die Analyse der Verfahren notwendigen Einflussgrößen berücksichtigt, wie zum Beispiel einstreifige Zufahrten und reiner Pkw-Verkehr. Mit den Ergebnissen wurden die in der Untersuchung analysierten Berechnungsverfahren zum einen auf ihre prinzipielle Eignung hin untersucht. Einige der Verfahren lagen bisher nur als theoretische Herleitungen vor. Zum anderen wurden die Anpassungsmöglichkeiten einzelner Parameter in den Verfahren getestet.

Die empirisch und in der Simulation ermittelten Wartezeiten wurden den analytischen Berechnungsergebnissen gegenübergestellt. Zum Vergleich wurden zunächst für alle Untersuchungsobjekte die Wartezeiten nach HBS, Ausgabe 2015, für festzeitgesteuerte Einzelknotenpunkte berechnet. Die Wartezeit für festzeitgesteuerte Einzelknotenpunkte bildet die Grundlage sowohl für die Ermittlung der Wartezeit an koordinierten als auch an verkehrabhängig gesteuerten Lichtsignalanlagen. Die Steuerungsarten werden jeweils über Korrekturverfahren in die Wartezeitermittlung einbezogen.

Zur analytischen Ermittlung der Wartezeit in koordiniert signalisierten Zufahrten wurde das Verfahren nach HBS, Ausgabe 2015, das dem Verfahren nach HCM 2010 entspricht, und das Verfahren nach Wu (2014) in die Analyse einbezogen. Die Wartezeiten an verkehrabhängig gesteuerten Einzelknotenpunkten wurden anhand des Verfahrens nach HCM 2000 sowie des Verfahrens nach Newell (1969) und Wu (2004) ermittelt.

Die Ergebnisse der analytischen Schätzverfahren wurden schließlich mit den empirisch ermittelten Wartezeiten verglichen, um geeignete Verfahren auszuwählen und Optimierungspotenziale innerhalb der Verfahren aufzuzeigen. Die Güte der Schätzergebnisse der einzelnen Verfahren wurde mithilfe von

geeigneten Fehlermaßen bestimmt. Durch die Minimierung der Fehlerquadrate zwischen analytisch und empirisch ermittelten Werten wurden Verfahrensparameter zur Aufnahme in das HBS abgeleitet.

Die gewählten und weiterentwickelten Verfahren wurden an unabhängig erstellten Simulationsmodellen von Anwendungsbeispielen aus der Praxis validiert. Insgesamt wurden jeweils sechs koordiniert festzeitgesteuerte Straßenzüge und sechs Einzelknotenpunkte mit verkehrsabhängig gesteuerten Lichtsignalanlagen für die Validierung der Verfahren herangezogen.

3 Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchung hat gezeigt, dass die analysierten Wartezeitmodelle prinzipiell für deutsche Verkehrsverhältnisse geeignet sind. Die vergleichende Analyse der Verfahren zur Schätzung der Wartezeiten an koordinierten Knotenpunkten ermöglicht keine eindeutige Empfehlung für einen bestimmten Ansatz. Das Verfahren nach Wu (2014) liefert im Vergleich zum Verfahren nach HBS (FGSV, 2015) teilweise etwas genauere Ergebnisse, ist für die Anwendung in der Praxis aufgrund der Vielzahl zu ermittelnder Faktoren jedoch komplexer.

Einschränkungen bei der Eignung der analysierten Verfahren wurden bei kurzen Knotenpunktabständen in Verbindung mit hohen Auslastungsgraden der koordinierten Zufahrten festgestellt. Für den Fall, dass sich ein Reststau am Grünende in einer Zufahrt über den stromaufwärts gelegenen Knotenpunkt hinaus fortpflanzt, konnten die Wartezeiten nicht zutreffend für beide Knotenpunkte ermittelt werden. Im Verfahren wird die gesamte Wartezeit in der Regel der stromabwärts gelegenen Zufahrt zugeschlagen. Des Weiteren wird die Grundwartezeit mit dem Verfahren nach HBS 2015 bei einem hohen Kolonnenanteil an gut koordinierten Zufahrten, bei welchen der Eintreffenszeitpunkt der Kolonne mit dem Freigabezeitbeginn zusammenfällt, unterschätzt. Die Grundwartezeit wird in diesen Fällen nach HBS, Ausgabe 2015, gleich null. Der Grund hierfür liegt in der fehlenden Berücksichtigung der Kolonnenauflösung im Verfahren. Das Verfahren nach Wu (2014) ergibt für diese Fälle bessere Lösungen, da hierbei die Schätzung des Kolonnenanteils am Gesamtverkehr präziser erfolgt.

Zur Schätzung der Wartezeiten an Einzelknotenpunkten mit verkehrsabhängiger Steuerung empfiehlt sich das Verfahren nach HCM 2000. Die Parameteroptimierung ergab für die Anwendung auf die untersuchten Knotenpunkte eine Anpassung der Gleichung zur Ermittlung des Parameters, mit dem die Grundwartezeit gegenüber der Schätzung für festzeitgesteuerte Lichtsignalanlagen korrigiert wird. Insbesondere für das Verfahren nach Newell (1969) und Wu (2004) ist die genaue Kenntnis der mittleren Signalzeiten im Untersuchungszeitraum Voraussetzung für die Schätzung der Wartezeiten. In der Untersuchung wurden diese anhand empirischer Datensätze ermittelt. In der Praxis stehen diese Informationen jedoch in der Regel nicht zur Verfügung. Eine Schätzung der mittleren Signalzeiten ist mit dem Verfahren nach Akcelik (1994) und Wu (2005) möglich.

Defizite weisen sowohl das Verfahren nach HCM 2000 als auch das Verfahren nach Newell (1969) und Wu (2004) hinsichtlich der Schätzung der Wartezeiten für Signalgruppen mit Freigabezeitforderung auf, die aufgrund niedriger Auslastung über

mehrere Umläufe hinweg nicht bedient werden. Da die Wartezeit in diesem Fall der Zeit zwischen Anforderung und Freigabe entspricht, wird hierfür bereits die Grundwartezeit ohne Berücksichtigung der Steuerungsart unzutreffend ermittelt.

4 Folgerungen für die Praxis

Mit der Untersuchung konnte gezeigt werden, dass die Verfahren aus dem HCM zur Schätzung der Wartezeiten an koordinierten Zufahrten sowie an verkehrsabhängig gesteuerten Einzelknotenpunkten für deutsche Verkehrsverhältnisse anwendbar sind. Anhand der Ergebnisse umfangreicher empirischer Erhebungen und Simulationsuntersuchungen wurde die Güte zur Schätzung der Wartezeiten verschiedener Verfahren aufgezeigt.

Das Verfahren nach HCM 2010 zur Schätzung der Wartezeiten für koordinierte Zufahrten ist bereits im HBS, Ausgabe 2015, enthalten und kann unverändert beibehalten werden. Aufgrund der genaueren Ergebnisse für gut koordinierte Straßenzüge kann für zukünftige Weiterentwicklungen jedoch auch das Verfahren nach Wu (2014) in Betracht gezogen werden. Zudem ermöglicht das Verfahren im Gegensatz zum Ansatz nach HCM 2010, die Effekte der Koordinierung über mehrere Knotenpunkte hinweg in die Ermittlung der Wartezeit einzubeziehen.

Zur Berücksichtigung der Auswirkungen verkehrsabhängiger Steuerungen an Einzelknotenpunkten wird eine Anpassung des Verfahrens aus dem HCM 2000 vorgeschlagen, welche für die Aufnahme in das HBS aufbereitet wurde. Durch die Einbeziehung des Ansatzes zur Bestimmung der Wartezeiten bei verkehrsabhängiger Lichtsignalsteuerung kann der Anwendungsbereich des HBS-Bemessungsverfahrens für Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage erheblich erweitert werden.