

Einfluss von Knotenpunktgrundformen auf die Verkehrsqualität von Straßennetzen

FA 2.191

Forschungsstelle: Universität Hannover, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau (Prof. Dr.-Ing. R. Schnüll)

Bearbeiter: Schnüll, R. / Engelmann, F. / Heinig, K. / Schütte, F.

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

Abschluss: Mai 2002

1. Aufgabenstellung

Beim Entwurf einer Landstraße stehen für den Planenden verschiedene Knotenpunktgrundformen zur Auswahl. Während schwach belastete untergeordnete Straßen i.d.R. über plangleiche vorfahrtgeregelte Knotenpunkte angeschlossen werden, kommen bei mittleren und hohen Verkehrsstärken in der Nebenrichtung oft lichtsignalisierte Knotenpunkte zum Einsatz. Im Zuge der Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Mikroelektronik wurden diese Lichtsignalanlagen (LSA) in den letzten Jahrzehnten häufig mit einer verkehrsabhängigen Steuerung versehen. Gerade in dieser Zeit erfuhren aber auch Kreisverkehre eine Renaissance, sodass sie von Vielen heute als gleichberechtigte Knotenpunktgrundform zu lichtsignalisierten Knotenpunkten gesehen werden. Zudem kommen auf Landstraßen teilplanfreie und planfreie Knotenpunkte zum Einsatz, wobei jedoch Sicherheitsbedenken bei planfreien Lösungen an einbahnigen Straßen bestehen und auch die hohen Kosten der Kreuzungsbauwerke äußerst kritisch gesehen werden.

Um die Auswahl der richtigen Knotenpunktgrundform zu erleichtern, wurde in einer jüngeren Forschungsarbeit eine detaillierte Zuordnung der Knotenpunktgrundformen zu den Straßenkategorien in Abhängigkeit von einer angestrebten Reisezeitveränderung erarbeitet. Dabei stellte sich jedoch die Frage, wie sich die Knotenpunktgrundformen auf die Qualität des Verkehrsablaufes in einem Straßenzug und in Netzen von Außerortsstraßen auswirken. Da diese nicht nur von den verschiedenen Knotenpunktgrundformen sondern auch von den knotenpunktfreien Streckenabschnitten und verschiedenen Lagekriterien (ortsferne/ortsnahe Verbindung, Anteil an Ortsdurchfahrten etc.) abhängen, ist bei dieser Fragestellung eine streckenbezogene bzw. netzbezogene Betrachtung erforderlich.

Eine zusammenfassende Betrachtung eines Straßennetzes unter Betrachtung der Elemente knotenpunktfreie Streckenabschnitte, Ortsdurchfahrten und Knotenpunkte ist bisher nicht durchgeführt worden. Deshalb war auch nicht bekannt, ob sich die unterschiedlichen Knotenpunktgrundformen außerhalb bebauter Gebiete wesentlich auf die Reisezeitveränderungen auswirken oder ob der Einfluss der Ortsdurchfahrten auf die Reisezeitveränderung diese knotenpunktgrundformbezogenen Auswirkungen überdeckt. Diese Gesamtbetrachtung war daher Gegenstand der vorliegenden Untersuchung.

Ziel des Forschungsvorhabens war die Untersuchung von Reisezeitveränderungen und Verkehrsverlagerungen in Straßennetzen außerhalb bebauter Gebiete bei unterschiedlichen Knotenpunktgrundformen durch den Einsatz von Verkehrssimulationen und -umlegungen. Dabei wurde geprüft, ob

- mit den Einsatzempfehlungen einer jüngeren Forschungsarbeit auf einzelnen zusammenhängenden Streckenzügen die auf Grund der Verbindungsfunktion angestrebten Reisezeitveränderungen tatsächlich erreicht werden können,

- auch bei einem netzweiten Einsatz von Kreisverkehren ein hierarchisch gegliedertes Straßennetz erhalten werden kann,
- durch den Einsatz unterschiedlicher Knotenpunktgrundformen Verkehrsverlagerungen im Straßennetz eintreten und
- bei einer netzweiten Betrachtung je nach Wahl der Knotenpunktgrundform Veränderungen der Reisezeitensumme bzw. der Verkehrsarbeit nachweisbar sind.

Durch die realistische Abbildung eines Straßennetzes und durch vergleichende Betrachtungen konnte der tatsächliche Einfluss der Knotenpunktgrundformen auf die Reisezeitveränderungen im Straßennetz verlässlich quantifiziert werden. Damit konnten die vorliegenden Vorschläge für differenzierte Einsatzempfehlungen von Knotenpunktgrundformen geprüft und modifiziert werden.

2. Untersuchungsmethodik

Nach einer Literaturanalyse wurden die bisher vorhandenen Grundlagen zu Berechnungsverfahren von Reisezeitveränderungen aus empirischen Untersuchungen bzw. vorliegenden Forschungsarbeiten zusammengestellt. Sie wurden nach den drei Elementen knotenpunktfreie Streckenabschnitte, Ortsdurchfahrten und die verschiedenen Knotenpunktgrundformen differenziert.

Die daraus resultierenden Erkenntnisdefizite wurden durch ergänzende empirische Untersuchungen ausgeglichen. Die Ermittlung dieser Grundlagen war wichtig, um für die Simulationen und Modellrechnungen über geeignete Berechnungsverfahren und ein verlässliches Datenmaterial zu verfügen. Die Untersuchung an den teilplanfreien und planfreien Knotenpunkten ergab mittlere Reisezeitveränderungen von 39 km/h bei teilplanfreien Knotenpunkten und 41 km/h bei planfreien Knotenpunkten. Die mittlere Pkw-Reisezeitveränderung in den Ortsdurchfahrten betrug etwa 50 km/h ohne den jeweiligen Einfluss der Knotenpunkte. Diese Werte wurden in den Modellen als mittlere Reisezeitveränderungen angesetzt.

Als Basis für die folgenden Simulationen und Modellrechnungen erfolgte die Auswahl und Aufbereitung des zu untersuchenden Straßenzuges bzw. Netzes aus dem Großraum Hannover, dessen Struktur überwiegend ländlich geprägt sein sollte. Es wurde ein 16,75 km langer Straßenzug der Bundesstraße B 65 westlich von Hannover ausgewählt, der in diesem Bereich eine typische norddeutsche Außerortsstraße in der Nähe eines Ballungszentrums mit relativ dicht aufeinander folgenden Ortsdurchfahrten und Knotenpunkten (mittlerer Knotenpunktabstand 1,5 km) darstellt, welche zum Einen lichtsignaltechnisch und zum Anderen vorfahrtgeregelt sind. Dieser Straßenzug wurde schon bei den Untersuchungen des Einflusses von Ortsdurchfahrten auf die Reisezeitveränderung analysiert, wodurch Pkw-Geschwindigkeitsprofile über den gesamten zweistreifigen Straßenzug vorlagen. Die Verkehrsstärken in der morgendlichen Spitzenstunde (7.00–8.00 Uhr) liegen im westlichen Teil der Straßenzuges bei bis zu 1.300 Kfz/h im Querschnitt, im östlichen Teil bei etwa 900 Kfz/h. Der Schwerverkehrsanteil beträgt zu dieser Zeit rund 10 %.

Mit dem Einzelfahrzeug-Simulationsprogramm VISSIM wurde der ausgewählte Straßenzug fahrfreifengetreu modelliert. Darauf aufbauend wurden vor dem Hintergrund differenzierter Einsatzkriterien für einzelne Knotenpunktgrundformen verschiedene Varianten entwickelt, in denen die Knotenpunktgrundform variiert wurde. Für den Ist-Zustand und die Varianten wurden die Reise- und Verlustzeiten, die Reisezeitveränderungen sowie die Staulängen an den Knotenpunkten ermittelt. Zudem wurde der

Straßenzug ohne die vorhandenen Ortsdurchfahrten und ein die B 65 im Versatz kreuzender untergeordneter Straßenzug bei Variation der Knotenpunktgrundform simuliert.

In einem nächsten Schritt wurden die für das institutseigene Verkehrsumlegungsmodell ROUML erforderlichen Netzelementkordierungen für die verschiedenen Knotenpunktgrundformen ermittelt. Dabei wurden die in der neueren Literatur angegebenen Berechnungsverfahren zur Bestimmung von Verlust- und Wartezeiten implementiert. Als Grundlage für die Verkehrsmodellierung auf das den betrachteten Straßenzug umgebende Straßennetz wurden wie bei der Einzelfahrzeugsimulation verschiedene Planfälle im Netz entwickelt.

Abschließend erfolgte die Auswertung der Ergebnisse der Simulationen und Umlegungen für die verschiedenen Streckenvarianten bzw. Planfälle im Netz hinsichtlich ihres Einflusses auf streckenbezogene Reisezeiten bzw. netzbezogene Verkehrsverlagerungen sowie auf die Veränderung der Verkehrsarbeit.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Ergebnisse der Einzelfahrzeugsimulation

Die Einzelfahrzeugsimulationen brachten folgende Ergebnisse:

- Zwischen der Variante mit lichtsignalisierten Knotenpunkten und der mit Kreisverkehren waren die Unterschiede auf dem übergeordneten Straßenzug (mit und ohne Ortsdurchfahrten) bei Reisezeit und Reisegeschwindigkeit minimal. Tendenziell fiel der Kreisverkehr geringfügig günstiger aus. Die maximalen Staulängen waren beim Kreisverkehr hingegen nur etwa halb so groß.
- Auch im untergeordneten Straßenzug waren die Unterschiede zwischen der Variante mit lichtsignalisierten Knotenpunkten und der mit Kreisverkehren sehr gering. Hier gab es aber keine Tendenzen, welche Knotenpunktgrundform günstiger ausfiel. Auch bei den Staulängen gab es keine eindeutigen Tendenzen.
- Deutliche Vorteile bezüglich der Verkehrsqualität eines Kreisverkehrs gegenüber einem lichtsignalisierten Knotenpunkt, wie sie in anderen Forschungsarbeiten (SEEBO, ZÜGER und PORCHET) festgestellt wurden, konnten nicht bestätigt werden, wobei dort aber auch festzeitgesteuerte LSA untersucht wurden.
- Zwischen der teilplanfreien und planfreien Variante ergaben sich bezogen auf die mittlere Reisezeit, die mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeit und die maximalen Staulängen im übergeordneten Straßenzug nur minimale Unterschiede.
- Zwischen der Variante mit lichtsignalisierten Knotenpunkten und der mit planfreien (bzw. teilplanfreien) Knotenpunkten waren die Unterschiede auf dem übergeordneten Straßenzug mit Ortsdurchfahrten bei Reisezeit und Reisegeschwindigkeit etwas deutlicher. Bezogen auf die Gesamtreisezeit ergab sich ein Reisezeitgewinn von etwa 2 % pro umgebauten Knotenpunkt, was einer Zunahme der Pkw-Reisegeschwindigkeit von 1–1,5 km/h pro umgebauten Knotenpunkt entspricht. Staus traten bei den teilplanfreien und planfreien Varianten nicht auf.
- Ohne Berücksichtigung der Ortsdurchfahrten wurde diese Tendenz im übergeordneten Straßenzug noch etwas deutlicher. Bezogen auf die Gesamtreisezeit ergab sich ein Reisezeitgewinn von 7–8 Sekunden pro Kilometer, was einer Zunahme der Pkw-Reisegeschwindigkeit von 2–2,5 km/h pro umgebauten Knotenpunkt entspricht.
- Auch im untergeordneten Straßenzug waren die Unterschiede zwischen der teilplanfreien und planfreien Variante deutlicher. Während die Ergebnisse in der teilplanfreien Variante aber nur geringfügig günstiger als in den plangleichen Varianten ausfielen, ergab sich bei der planfreien Variante ein Reisezeitgewinn von bis zu 5 Sekunden pro Kilometer, was einer Zunahme der

Pkw-Reisegeschwindigkeit von 3–4 km/h pro umgebauten Knotenpunkt entspricht.

Auf Grund der Ergebnisse der Verkehrssimulationen ließen sich bezüglich der Wahl der Knotenpunktgrundform einige Aussagen treffen. An Straßen der Kategorie A II oder A III ist die Verkehrsqualität der Strecke für die Wahl eines Knotenpunktes mit einer verkehrsabhängig gesteuerten LSA und mit einem Kreisverkehr kein Entscheidungskriterium, da die Unterschiede diesbezüglich minimal sind. Hier sind andere Kriterien (Verkehrssicherheit, Kontinuität der Streckencharakteristik, Fußgänger/Radfahrerüberquerungen etc.) wesentlich entscheidender.

Bei der Entscheidung zwischen einem plangleichen und einem planfreien Knotenpunkt sind die je nach Verkehrsstärke, Bevorrechtigung des Straßenzuges und dem Vorhandensein von Ortsdurchfahrten erzielbaren Reisezeitunterschiede von bis zu 5 Sekunden pro Kilometer bezogen auf die Gesamtreisezeit abzuwägen mit den erheblichen finanziellen Aufwendungen. Um die Verkehrsqualität signifikant zu verbessern, müsste aber nicht nur ein Knotenpunkt, sondern der gesamte Straßenzug planfrei und ohne Ortsdurchfahrten ausgeführt werden (Entwurfsklasse 1). Ob die so erreichte immer noch geringfügige Verbesserung der Verkehrsqualität als ein ausreichendes Argument für die erheblichen Baukosten einer planfreien Lösung herangezogen werden kann, ist allerdings fraglich.

3.2 Ergebnisse der Verkehrsumlegungen

Die Verkehrsumlegungsberechnungen zeigten, dass sich wesentliche Informationen nur durch eine streckenbezogene Betrachtungsweise ergaben, da bei einer netzweiten Betrachtung die Unterschiede vor allem der erbrachten Verkehrsarbeit in den Planfällen marginal waren.

- Die Reisezeitgewinne fallen in allen Planfällen in der schwächer belasteten Fahrtrichtung ähnlich hoch aus. Sie betragen zwischen 12,0 % und 14,6 %, was einem Gewinn von 0,8–1 % pro Kilometer entspricht. Diese Reisezeitgewinne sind sehr gering.
- Die Unterschiede in den Reisezeitgewinnen zwischen den Planfällen der Kreisverkehre und der teilplanfreien und planfreien Knotenpunkte waren so gering, dass die vorliegenden Untersuchungen den Bau sehr aufwändiger planfreier oder teilplanfreier Knotenpunkte nicht rechtfertigen. Für solche Knotenpunktgrundformen können aber andere Kriterien ausschlaggebend sein.
- In der höher belasteten Gegenrichtung mussten die Ergebnisse unter Beachtung der Handhabung der überlasteten Zufahrt eines der elf Knotenpunkte des untersuchten Straßenzuges gesehen werden. Die Reisezeitgewinne pro Kilometer erstrecken sich über eine größere Bandbreite von 0,6–1,5 %.
- Die Untersuchung der Verkehrsarbeit ergab eine Zunahme in einem Bereich von 1,7–3,2 % für die stärker belastete Fahrtrichtung. In der Gegenrichtung wurde zwischen 0,1 % und 2,1 % mehr Verkehrsarbeit geleistet. Eine Erhöhung der Verkehrsarbeit trat immer dann ein, wenn eine Verringerung der Reisezeit zu verzeichnen war.
- Im Fall einer deutlichen Zunahme der Verkehrsarbeit auf dem untersuchten Straßenzug stieg auch die Verkehrsarbeit im Netz. Das bedeutete, dass sich in diesem Fall der Verkehr von wegzürzeren Routen auf attraktivere Routen verlagerte, auch wenn dadurch eine Verlängerung der Wegstrecke in Kauf genommen werden musste.
- Die Reisegeschwindigkeiten der Planfälle lagen mit einem Niveau von 65,0–92,3 km/h in einer großen Variationsbreite. Dabei schnitten die planfreien und teilplanfreien Knotenpunktgrundformen erwartungsgemäß am Besten ab. Dies war auch nicht vom Vorhandensein von Ortsdurchfahrten abhängig.

Die Unterschiede zwischen der mikroskopischen Einzelfahrzeugsimulation VISSIM und dem makroskopischen Umlegungsmodell ROUML bezüglich der Reisezeitgewinne erklärten sich

durch die stark unterschiedlichen Verkehrsstärken, die auf dem untersuchten Straßenzug abgebildet wurden. Damit war eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse dieser beiden Untersuchungen nur äußerst eingeschränkt möglich.

3.3 Überprüfung der Einsatzbereiche für Knotenpunktgrundformen

In einer jüngeren Forschungsarbeit wurden von SCHNÜLL und KÖLLE für plangleiche und planfreie Knotenpunkte an zweistreifigen Straßen grundformbezogene Einsatzgrenzen definiert. Dabei wurde neben einer Differenzierung in verschiedene Knotenpunktgrundformen nach DTV, Knotenpunktabstand und mittlerer Pkw-Reisegeschwindigkeit unterschieden. Einige der dabei definierten Einsatzgrenzen konnten in der vorliegenden Forschungsarbeit überprüft werden.

Es wurden die in den Simulationen ermittelten mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeiten auf dem übergeordneten und untergeordneten Straßenzug mit bzw. ohne Ortsdurchfahrten den von SCHNÜLL und KÖLLE empfohlenen Einsatzbereichen gegenübergestellt. Am Vergleichbarsten waren die Angaben des übergeordneten Straßenzuges ohne Ortsdurchfahrten, da Ortsdurchfahrten das Geschwindigkeitsniveau der Gesamtstrecke je nach Anzahl und Länge unterschiedlich stark verringern. Die Gegenüberstellung zeigte, dass die angestrebten Reisegeschwindigkeiten beim Knotenpunkt mit LSA sowie beim teilplanfreien und planfreien Knotenpunkt in den Simulationen und Umlegungsrechnungen erreicht wurden. Beim Kreisverkehr stellte sich in den Simulationen hingegen ein Geschwindigkeitsniveau ein, das um 10–20 km/h unter der von SCHNÜLL und KÖLLE vorgeschlagenen Einsatzgrenze liegt. Die Umlegungen konnten diese Tendenz hingegen nicht bestätigen.

Die Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse zeigte, dass der Anteil der Ortsdurchfahrten erwartungsgemäß einen deutlichen Einfluss auf die mittlere Pkw-Reisegeschwindigkeit hatte. Die Varianten mit Ortsdurchfahrten auf dem übergeordneten bzw. untergeordneten Straßenzug (Anteil der Ortsdurchfahrten 28 % bzw. 29 %) ließen bei den Simulationen mit VISSIM nur noch geringe Unterschiede bezüglich der mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeit bei den einzelnen Knotenpunktgrundformen erkennen. Die Umlegungsrechnungen führten zu ähnlichen Ergebnissen, ließen jedoch höhere Reisegeschwindigkeiten bei allen Planfällen gegenüber dem Ist-Zustand erkennen. Ab einem gewissen Anteil der Ortsdurchfahrten auf einer Strecke waren die

hohen Reisegeschwindigkeiten also auch bei teilplanfreien und planfreien Knotenpunkten nicht zu erreichen, wodurch sie bezüglich der Verkehrsqualität ihre Existenzberechtigung verloren.

4. Folgerungen für die Praxis

Die Simulationen ergaben nur minimale Unterschiede bezüglich der Verkehrsqualität zwischen den Varianten mit lichtsignalisierten Knotenpunkten und den mit Kreisverkehren, sodass die Verkehrsqualität der Strecke bei der Wahl zwischen diesen beiden Knotenpunktgrundformen kein Entscheidungskriterium sein kann. Die Untersuchungen mittels der Umlegungsrechnungen bei geringeren Verkehrsstärken zeigten hingegen, dass die Planfälle mit Kreisverkehren hinsichtlich der Reisezeiten Vorteile gegenüber den Lichtsignalanlagen aufwiesen. Dies war allerdings nur dann der Fall, wenn die Kapazitäten der Kreisverkehre ausreichen, um die anfallenden Verkehrsstärken abzuwickeln. In diesen Fällen konnten ähnliche Reisezeitgewinne wie bei den baulich erheblich aufwändigeren teilplanfreien oder planfreien Varianten ermittelt werden. Weiterhin wurde deutlich, dass durch eine Verringerung der Reisezeiten Verkehr gebündelt werden kann. Eine Erhöhung der Reisezeiten führte dagegen zu einer Verlagerung von Verkehr in das nachgeordnete Netz. Damit ist vor allem die Knotenpunktgrundform Kreisverkehr besonders geeignet, ein hierarchisiertes Netz zu bilden.

Die ermittelten und in einer anderen Forschungsarbeit empfohlenen Reisegeschwindigkeiten in den Varianten ohne Ortsdurchfahrten stimmten bei den Knotenpunkten mit LSA, den teilplanfreien Knotenpunkten und den planfreien Knotenpunkten gut überein. Bei den Kreisverkehren stellte sich hingegen ein Geschwindigkeitsniveau ein, das um 10–20 km/h unter der empfohlenen Einsatzgrenze lag. Die Varianten mit Ortsdurchfahrten wiesen nur äußerst geringe Unterschiede bei den verschiedenen Knotenpunktgrundformen bzgl. der Reisegeschwindigkeiten auf. Das bedeutet, dass die Lage der Landstraße (ortsnahe/ortsferne Verbindung, hoher/geringer Anteil an Ortsdurchfahrten) entscheidend für die dort zu erreichenden Reisegeschwindigkeiten ist. Daher muss der Anteil der Ortsdurchfahrten an der Gesamtstrecke in die Einsatzempfehlungen für Knotenpunktgrundformen (z. B. durch eine Einteilung in Entwurfsklassen) integriert werden. Diese Erkenntnisse müssen auch bei der Überführung der sektoralen Entwurfsrichtlinien RAS-L, -Q, -K-1 zu ganzheitlichen Richtlinien für die Anlage von Landstraßen mit einfließen. □