

Zeitabhängige Verbindungsqualität in Straßennetzen

FA 18.019

Forschungsstellen: Universität Stuttgart, Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik (Prof. Dr.-Ing. M. Friedrich)

Technische Universität Braunschweig, Institut für Verkehr und Stadtbaugesamtes (Prof. Dr.-Ing. B. Friedrich)

Bearbeiter: Friedrich, M. / Lohmiller, J. / Friedrich, B. / Bennecke, A.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Abschluss: September 2011

Baustellen oder Witterungsbedingungen verursacht werden.

Ziel des Forschungsvorhabens war es, Fahrzeiten über längere Zeiträume für typische Verbindungen im real existierenden Straßennetz zu ermitteln und aus den resultierenden Fahrzeitverteilungen Hinweise auf die Verbindungsqualität abzuleiten. Die Verbindungsqualität wird analog zu den RIN und dem HBS mit sechs Qualitätsstufen A bis F beschrieben.

Die Fahrzeit und die Verbindungsqualität können grundsätzlich für beliebige Verbindungen zwischen zwei Punkten im Straßennetz bestimmt werden. Während das HBS nur Einzelanlagen betrachtet, wird in den RIN die komplette Ortsveränderung einschließlich der Zu- und Abgangszeit längenabhängig bewertet. Im Rahmen des Forschungsprojekts werden Verbindungen zwischen bedeutenden Knotenpunkten im Straßennetz betrachtet. Die Bedeutung eines Knotenpunkts ergibt sich aus der funktionalen Gliederung des Straßennetzes.

In der Analyse der Verbindungsqualität werden Zusammenhänge zwischen Zuverlässigkeit, Ausbaustandard, Verkehrsnachfrage und Verbindungsfunktionsstufe analysiert, um Merkmale zu identifizieren, die einen signifikanten Einfluss auf die Fahrzeiten und deren Verteilung haben. Außerdem wird versucht, eine Methode zu entwickeln, mit der man in der Planungspraxis die Verbindungsqualität für eine zu untersuchende Verbindung mit vertretbarem Aufwand bestimmen kann.

1 Zielsetzung

Die Verkehrslage im Straßennetz und die daraus resultierende Qualität des Verkehrsablaufs werden maßgeblich von der Verkehrsnachfrage und der Kapazität bestimmt. Die Verkehrsnachfrage verändert sich sowohl im Laufe eines Tages als auch innerhalb der Tage eines Jahres. Die verfügbare Kapazität kann ebenfalls vor allem aufgrund von Baustellen, Unfällen oder Witterungsbedingungen variieren. Im Ergebnis führt das dazu, dass der Zeitaufwand der Verkehrsteilnehmer vom Zeitpunkt der Ortsveränderung abhängt. In den aktuellen Regelwerken wird diese Dynamik auf unterschiedliche Art und Weise berücksichtigt:

- In den "Richtlinien für die integrierte Netzgestaltung" RIN (FGSV, 2008) wird die Angebotsqualität einer kompletten Ortsveränderung mit sechs Qualitätsstufen (SAQ = Stufen der Angebotsqualität) bewertet. Für die Bewertung der Angebotsqualität sollen im Individualverkehr Fahrzeiten ohne Störungen durch Arbeitsstellen und zufällige Ereignisse (zum Beispiel Unfälle) verwendet werden, die in den werktäglichen Hauptverkehrszeiten oder gegebenenfalls den angrenzenden Zeitbereichen anfallen.
- Diese Luftliniengeschwindigkeiten werden in Abhängigkeit von der jeweiligen Entfernung der verbundenen zentralen Orte in anzustrebende mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeiten für die einzelnen Netzabschnitte umgesetzt, welche die Vorgaben für den Ausbaustandard einer Straße liefern. Der Nachweis der Einhaltung dieser Zielvorgaben soll künftig im Rahmen der verkehrstechnischen Bemessung nach dem "Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen" HBS erfolgen.
- Im HBS (FGSV, 2001) wird die Qualität des Verkehrsablaufs an Einzelanlagen mit sechs Qualitätsstufen (QSV = Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs) bewertet. Hier wird als Bemessungsverkehrsstärke die Verkehrsstärke der n-ten Stunde (Bundesfernstraßen: 30. Stunde) herangezogen. Auch das HBS berücksichtigt nicht den Einfluss von Störungen, die durch Unfälle,

2 Datengrundlagen

Als repräsentative Grundlage für die Analyse der Fahrzeitverteilungen auf Verbindungen im Autobahnnetz und in städtischen Hauptstraßennetzen sind Daten für ein ganzes Jahr erforderlich. Für das deutsche Autobahnnetz werden Fahrzeiten für die 3-Minuten-Intervalle eines ganzen Jahres aus einem Datenarchiv entnommen, das die ddg GmbH zur Verfügung stellt. Grundlage der Fahrzeiten sind kontinuierliche Messungen der lokalen Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten im Autobahnnetz. Für das städtische Netz standen vergleichbare Daten für das Hauptstraßennetz in Hamburg zur Verfügung, das die DLR bereitstellt. Grundlage der Fahrzeiten sind Floating Car Data der Taxis in Hamburg.

Die Ermittlung der verbindungsbezogenen Fahrzeiten erfolgt in einem Netzmodell mit nahezu allen Autobahnstrecken und einem Netzmodell mit den Hauptstraßen in Hamburg. In den Netzmodellen werden dann für die ausgewählten Verbindungen zeitabhängige Fahrzeiten für alle 15-Minuten-Intervalle eines Jahres berechnet.

Zusätzlich wurden Fahrzeiten größerer Fahrzeugmengen für zwei längere Autobahnstreckenzüge (A 8: München – Karlsruhe, A 7: Würzburg – Hannover) über den Zeitraum einer ganzen Woche mithilfe von Kennzeichenerfassungssystemen erfasst. Die so gemessenen Fahrzeiten dienen sowohl zur Validierung der Modellrechnungen als auch zur Schaffung einer exakten Datenbasis für die Auswertungen von Verbindungen der Verbindungsfunktionsstufe 0 / I.

3 Kenngrößen

Diese Datengrundlage dient dazu, die Zuverlässigkeit im Straßennetz zu analysieren. Dabei wird unter der Zuverlässigkeit eine angemessene Fahrzeit auf einer Verbindung beziehungsweise einem Netzabschnitt verstanden. Die Fahrzeit kann je nach Verkehrszustand stark variieren, sodass es sinnvoll ist, ihre Verteilung zu untersuchen und geeignete Kennwerte zu entwickeln, die diese Verteilung hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Fahrzeiten charakterisieren. In diesem Zusammenhang erscheinen die folgenden drei Ansätze geeignet, die Zuverlässigkeit im Straßennetz als Kennwert zu quantifizieren.

1. Fahrzeitindex aus der Streuung:

Die Streuung berücksichtigt die Verteilung der Fahrzeiten. Sie kann durch den Fahrzeitindex ausgedrückt werden, der ein oberes Perzentil (zum Beispiel das 99 %-Perzentil) mit einem unteren Perzentil (zum Beispiel dem 15 %-Perzentil) oder einer angemessenen Soll-Fahrzeit in Bezug setzt.

Für die Beurteilung der Zuverlässigkeit von Netzabschnitten auf Autobahnen wird für den oberen Wert des Fahrzeitindex das 99 %-Perzentil gewählt, das etwa der Fahrzeit in der 90. Stunde des Jahres entspricht. Als Bezugsgröße wird die Soll-Fahrzeit aus der zu erwartenden Fahrzeit bei freiem Verkehrsfluss gewählt. Die Datenanalyse zeigt, dass das 15 %-Perzentil die erwartete Fahrzeit realistisch wiedergibt, sodass sich als Fahrzeitindex $FZI = t_{99\%} / t_{15\%}$ ergibt.

Für die Beurteilung der Zuverlässigkeit von städtischen Hauptverkehrsstraßen wird als oberer Wert des Fahrzeitindex ebenfalls das 99 %-Perzentil gewählt. Vor dem Hintergrund der vorliegenden Daten erscheint es jedoch sinnvoll, die Soll-Fahrzeit aus einer planerisch angestrebten Geschwindigkeit abzuleiten. Da in Zeiten mit geringer Verkehrsbelastung (zum Beispiel nachts) die vorgegebene Höchstgeschwindigkeit häufig nicht eingehalten wird, würde ein unterer Perzentilwert zu einer zu hohen und unangemessenen Soll-Geschwindigkeit führen. Als planerisch angemessene Soll-Geschwindigkeit wird in Anlehnung an Literaturquellen ein Wert von 40 km/h gewählt. Damit ergibt sich der Fahrzeitindex für städtische Hauptverkehrsstraßen zu $FZI = t_{99\%} / t_{v=40 \frac{km}{h}}$

2. Zuverlässigkeit aus der Ausfallsicherheit:

Die Ausfallsicherheit gibt an, wie häufig eine Mindestqualität, zum Beispiel die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit, unterschritten wird. Sie entspricht einer Pünktlichkeit beziehungsweise einer Verspätungswahrscheinlichkeit bezogen auf eine Soll-Fahrzeit analog zu fahrplangebundenen öffentlichen Verkehrssystemen.

Der Zeitraum mit Verspätung entspricht der Zeitdauer, in der die Soll-Fahrzeit der betrachteten Verbindung überschritten wird. Er wird mit der gesamten Zeitdauer des Betrachtungszeitraums in Bezug gesetzt. Der Anteil der Zeiträume ohne Verspätung wird als Pünktlichkeit bezeichnet. Als Soll-Fahrzeit wird eine Fahrzeit

gewählt, die sich aus einer erwarteten Mindestgeschwindigkeit ergibt. Für die Autobahnen wird die Soll-Fahrzeit mit einer Mindestgeschwindigkeit von 80 km/h erreicht, für städtische Hauptverkehrsstraßen wird in Anlehnung an verschiedene Literaturquellen eine Mindestgeschwindigkeit von 20 km/h angesetzt.

3. Zuverlässigkeit aus der Verlustzeit:

Die Verlustzeit berücksichtigt neben der Pünktlichkeit zusätzlich die Schwere einer Verspätung, das heißt die Abweichung von der Soll-Fahrzeit. Die Verlustzeit ergibt sich aus der Differenz der aktuellen Ist-Fahrzeit und der Soll-Fahrzeit. Um die Verlustzeit zu bewerten, wird sie auf die zurückgelegten Fahrzeugkilometer beziehungsweise auf die Streckenlänge normiert und in der Einheit Sekunden/Kilometer dargestellt. Als Bezugsgrößen werden dieselben Mindestgeschwindigkeiten wie für die Bestimmung der Verspätungen angesetzt.

Jeder Ansatz bewertet einen besonderen Aspekt der Zuverlässigkeit, sodass eine Bewertung mit mehreren Kenngrößen sinnvoll ist, wobei Verlustzeiten und Verspätungen auf ähnlichen Grundlagen beruhen und sich substituieren können.

4 Bewertungsfunktionen

Um die Verbindungsqualität beurteilen zu können, werden für die gewählten Kenngrößen Fahrzeitindex, Ausfallsicherheit und Verlustzeit aus der Analyse der empirischen Daten Vorschläge für die Bewertung der Verbindungsqualität entwickelt. Analog zum HBS werden sechs Unterteilungen der Qualitätsstufen A bis F vorgeschlagen.

Für die Ermittlung der Grenzen der Qualitätsstufen wird eine längenabhängige rationale Funktion verwendet. Die Abhängigkeit der Bewertung von der Länge ergibt sich aus der Vorstellung, dass sich bei kürzeren Entfernungen Verlustzeiten aufgrund von Störungen negativer auf die erreichbare Geschwindigkeit auswirken als bei großen Entfernungen. Hier kann der Zeitverlust möglicherweise kompensiert werden oder ist bezogen auf die längere Fahrzeit relativ unbedeutend.

Um eine gute Anpassung der Kurven an die empirischen Daten zu erhalten, werden drei Schritte durchlaufen. Dabei werden im ersten Schritt die Parameter der Bewertungsfunktion nach einer Zielfunktion optimiert. Die sich dabei gegenüber planerischen Grundsätzen ergebende Inplausibilitäten werden im zweiten Schritt diskutiert und durch manuelle Anpassungen der Parameter ausgeglichen. Im dritten Schritt werden die Bewertungskurven anhand von verschiedenen unabhängigen Datensätzen validiert.

Mit dieser Methodik werden für jede der drei gewählten Kenngrößen sowohl für Autobahnen wie auch für städtische Hauptverkehrsstraßen geeignete Bewertungsfunktionen ermittelt. Da im Sinne der Anwendbarkeit eine Kenngröße ermittelt werden soll, in der die Kennwerte geeignet zusammengefasst werden, wird eine Gesamtbewertung der Verbindungsqualität entwickelt. Dabei werden die Beiträge der einzelnen Kennwerte in ihren Kombinationen untersucht. Aus dieser Analyse resultiert, dass Autobahnen nach den beiden Kenngrößen Fahrzeitindex und Verlustzeit bewertet werden sollen. Dabei dürfen die Qualitäts-

stufen der beiden Kenngrößen nicht gemittelt werden, sondern die schlechtere Qualitätsstufe der beiden Bewertungen bildet die Gesamtbewertung. Für die Gesamtbewertung von städtischen Hauptverkehrsstraßen zeigt sich, dass die Kenngrößen Fahrzeitindex und Ausfallsicherheit am besten geeignet sind, um ein Gesamturteil abzuleiten.

5 Analyse von Einflussgrößen auf die Zuverlässigkeit

Die vorliegenden empirischen Daten eignen sich in Verbindung mit den entwickelten Bewertungsfunktionen, die Abhängigkeit der Zuverlässigkeit von verschiedenen möglichen Einflussgrößen zu untersuchen.

Als Einflussgrößen werden für die Netzabschnitte auf Autobahnen die Merkmale "Verbindungsfunktionsstufe", "Anzahl Fahrstreifen", "Anzahl Engstellen", "DTV", "DTV pro Fahrstreifen" und "DTV-SV" untersucht. Die Analyse zeigt eine starke Abhängigkeit der Verbindungsqualität von der fahrestreifenbezogenen Verkehrsbelastung (DTV pro Fahrstreifen). Durch jeweils 5 000 Fahrzeuge mehr pro Fahrstreifen und pro Tag verschlechtert sich die Qualität um eine halbe Note.

Als Einflussgrößen werden für die Netzabschnitte auf städtischen Hauptverkehrsstraßen die Merkmale "Verbindungsfunktionsstufe", "Anzahl Fahrstreifen", "Anzahl Engstellen", "DTV", "DTV pro Fahrstreifen" und "Lichtsignalanlage pro Kilometer" untersucht. Die Analyse zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Verbindungsqualität von der Anzahl der Engstellen. Den stärksten und eindeutigsten Einfluss auf die Kenngrößen zur Beschreibung der Verbindungsqualität im innerstädtischen Hauptverkehrsstraßennetz hat jedoch die Anzahl der Lichtsignalanlagen pro Kilometer.

6 Methoden zur Ermittlung repräsentativer Fahrzeitverteilungen

Mit den vorliegenden Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungsschritte stehen Kenngrößen und Funktionen zur Bewertung der Verbindungsqualität zur Verfügung. Für die zukünftigen Anwender werden jedoch noch Methoden benötigt, mit denen man in der Planungspraxis die Verbindungsqualität für einen zu untersuchenden Streckenzug mit vertretbarem Aufwand bestimmen kann.

Zur Bestimmung des Fahrzeitindex sind sowohl in der Stadt als auch auf Autobahnen Informationen über das 99 %-Perzentil der Fahrzeit auf dem betrachteten Netzabschnitt erforderlich. Auf Autobahnen wird darüber hinaus das 15 %-Perzentil als Bezugsgröße des Fahrzeitindex benötigt. Da im städtischen Bereich als Bezugsgröße die Fahrzeit bei einer Geschwindigkeit von 40 km/h verwendet wird, sind an dieser Stelle keine Messungen nötig.

Um die genannten Fahrzeit-Perzentile mithilfe von Kurzzeitmessungen abschätzen zu können, wird auf der Basis statistischer Analysen eine Methode vorgeschlagen. Für diese Methode kann jedoch mit den in diesem Forschungsprojekt zur Verfügung stehenden Daten kein zuverlässiger Wert für die Hochrechnung abgeleitet werden. Für die Durchführung der statistischen Analyse und die Ableitung eines möglichen Hochrechnungsfaktors würden gemessene Fahrzeiten eines ganzen

Jahres erforderlich sein. Insbesondere für eine genaue Schätzung des 99 %-Perzentils sind jedoch vergleichsweise lange Erhebungszeiträume erforderlich, sodass eine kontinuierliche Erfassung von Fahrzeiten angestrebt werden sollte.

7 Fazit

Die Analyse von Verbindungsqualitäten anhand von Fahrzeitverteilungen eines ganzen Jahres liefert für die Beurteilung von Straßennetzen neue und bislang in den Regelwerken noch nicht abgedeckte Bewertungsmöglichkeiten. Mithilfe der in diesem Forschungsprojekt entwickelten und untersuchten Kennwerte

- Fahrzeitindex aus der Streuung der Fahrzeiten auf einem Netzabschnitt,
- Ausfallwahrscheinlichkeit aus der Gegenüberstellung der Fahrzeit mit einer erwarteten Soll-Fahrzeit und
- Verlustzeiten aus den Differenzen der Fahrzeiten und der erwarteten Soll-Fahrzeit

lässt sich eine aussagekräftige Bewertung der Zuverlässigkeit erstellen.

Im Gegensatz dazu ermitteln die RIN die Stufen der Angebotsqualität für den Pkw-Verkehr vor allem durch den Zeitaufwand (Luftliniengeschwindigkeit als Quotient von Reisezeit und Luftlinienentfernung) und die Direktheit (Umfwegfaktor). Die Reisezeit in den RIN bezieht sich auf eine Spitzenstunde ohne Störungen, sodass die Zuverlässigkeit einer Verbindung aufgrund von Störungshäufigkeiten nicht berücksichtigt wird. Auch die Qualitätsbeurteilung nach dem HBS von Einzelanlagen, die auf der Basis der Auslastung ermittelt wird, berücksichtigt die tatsächliche Zuverlässigkeit nicht.

Gerade aber die Störungshäufigkeiten und die damit verbundenen volkswirtschaftlichen Kosten infolge längerer Fahrzeiten sowie höherer Energieverbräuche und Umweltkosten müssen bei der Bewertung von Ausbaumaßnahmen der Straßeninfrastruktur berücksichtigt werden. Insofern bietet sich neben der auslastungsbasierten Bewertung, die in der Regel für Planungsfälle in einem Prognosejahr erstellt wird, die Zuverlässigkeitsanalyse des bestehenden Straßennetzes als zusätzliche Beurteilung für die Dringlichkeit von Ausbaumaßnahmen an. Es wird in diesem Zusammenhang angeregt, weitere Forschung auf die Frage zu konzentrieren, wie die Zuverlässigkeitsanalyse der bestehenden Infrastruktur in die Bewertungsmethodik der Verkehrswegeplanung integriert werden kann.

Die Wirksamkeit von bestimmten Maßnahmen auf die Zuverlässigkeit kann in diesem Forschungsprojekt quantitativ belegt werden. Der plausible und in der Planungspraxis bekannte Zusammenhang zwischen der Fahrstreifenbelastung auf Autobahnen und der Zuverlässigkeit wird quantifiziert. Für städtische Hauptverkehrsstraßen kann nachgewiesen werden, dass die Knotenpunkte maßgebend für die Zuverlässigkeit des Netzes sind und welchen Einfluss in diesem Zusammenhang die Anzahl von Lichtsignalanlagen pro Kilometer auf die Zuverlässigkeit ausübt.

Um die hier vorgestellte Zuverlässigkeitsbewertung für die Planungspraxis anwendbar zu machen, werden hinreichende Datengrundlagen für die Ermittlung bestimmter Perzentile der

Fahrzeitverteilung eines Jahres benötigt. Die Methodik für ein mögliches Hochrechnungsverfahren wird im Grundsatz vorgestellt. Allerdings fehlt für die Ermittlung der spezifischen Hochrechnungsfaktoren die Datengrundlage von genauen Fahrzeitdaten eines gesamten Jahres. Insofern wird angeregt, in einer weiteren Forschung die Anforderungen an die erforderlichen Datengrundlagen und gegebenenfalls einsetzbare Hochrechnungsverfahren auf der Grundlage einer repräsentativen und genauen Datenbasis für Autobahnen und städtische Hauptverkehrsstraßen zu ermitteln.