

Überlastungswahrscheinlichkeiten und Verkehrsleistung als Bemessungskriterien für Straßenverkehrsanlagen

FA 3.327

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

Bearbeiter: Zurlinden, H.

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

Abschluss: Januar 2003

1. Aufgabenstellung

Die zunehmende Verknappung der den Straßenbaulastträgern zur Verfügung stehenden finanziellen Ressourcen erfordert eine sorgfältige Investitionsplanung. Das Haushaltsgrundsatzgesetz fordert bei großen Investitionen durch öffentliche Baulastträger eine qualifizierte Nutzen-Kosten-Analyse. Bislang erfolgt die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen durch den Vergleich der Verkehrsnachfrage mit der Kapazität über eine einzige Stunde. Mit Hilfe von Verkehrsflussmodellen wird bei der Dimensionierung (RAS-Q, HBS) aus diesem Vergleich auf die Qualität des Verkehrsablaufs während des gesamten Nutzungszeitraums geschlossen. Diese Vorgehensweise ist als unzureichend zu bezeichnen. Die ökonomischen Auswirkungen der Überlastungsfälle bleiben unberücksichtigt. Erst der Vergleich der für die Abwendung der Überlastungen erforderlichen Kosten mit dem zu erwartenden Nutzen ermöglicht die objektive Beurteilung der diskutierten Investition. Von besonderer Bedeutung für den Nutzen ist die Einsparung von Zeitverlusten. Die bisher im Richtlinienwerk vorgesehene Wirtschaftlichkeitsrechnung (EWS) führt nur eine grobe Unterteilung in Verkehrsbelastungsklassen durch. Auch diese Betrachtungsweise ist zu wenig differenziert.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Modellierung des Verkehrsablaufs und damit der Verkehrsqualität über ein ganzes Jahr. Aus der Gegenüberstellung von Nachfrage und Kapazität für alle Stunden eines Jahres werden die Zeitverluste für die Kraftfahrer geschätzt. Dabei soll die stochastische Eigenschaft sowohl der Verkehrsnachfrage als auch der Kapazität einer Straße berücksichtigt werden. Unfälle und Nothalte sowie der kapazitätsmindernde Einfluss von Nässe werden ebenfalls in die Überlegungen einbezogen.

Die Zusammenhänge zwischen der Verkehrsnachfrage und der mittleren Kapazität sowie den zu erwartenden jährlichen Zeitverlusten sollen ermittelt werden. Dies gilt auch für andere verkehrstechnische Parameter wie die mittlere Staudauer, die Anzahl der Überlastungen und die volkswirtschaftlichen Schäden als Folge der Überlastungsfälle. Für die möglichst praxisgerechte Herleitung dieser Zusammenhänge ist eine Methodik zu entwickeln.

Ein weiterer Aspekt der Untersuchung ist die Überprüfung der so genannten Verkehrsleistung auf ihre Eignung als Bemessungskonzept für Straßen und zur Definition der Grenze zwischen den Stufen D und E der Verkehrsqualität. Die Verkehrsleistung wurde aus einer Analogie zu mechanischen Systemen abgeleitet. Sie ist das Produkt aus Verkehrsstärke und mittlerer Reisegeschwindigkeit.

2. Untersuchungsmethodik

Das zu entwickelnde Modell setzt sich aus den drei Bausteinen Verkehrsnachfrage, Kapazität und Staumodell zusammen. Die Auswahl der einzelnen Modellierungsansätze erfolgte unter der

Zielsetzung, dass die Methode allgemein, d. h. für alle Abschnitte im bundesdeutschen Fernstraßennetz, anwendbar sein soll.

Als Nachfrage wurde im Rahmen des Projektes der stromaufwärts der analysierten Strecke ankommende Verkehr angesehen. Zur Erzeugung der Nachfrageganglinie kommen drei Verfahren in Betracht:

- Erzeugung durch die Überlagerung typisierter Jahres-, Wochen- und Tagesganglinien,
- analoge Übertragung von Ganglinienmustern von anderen Strecken mit ähnlicher räumlicher Bedeutung im Straßennetz,
- Erfassung der täglichen Verkehre über ein Jahr am zu analysierenden Querschnitt mit Anwendung der typisierten Tagesganglinien.

Der Vergleich der Methoden mit realen Ganglinien ergab:

Die Verkehrsnachfrage wird mit einfachen Mitteln am genauesten durch die Überlagerung der gezählten Tageswerte der Verkehrsstärke mit typisierten Tagesganglinien modelliert (dieser Ansatz ist lediglich als Annäherung an die realen Verhältnisse anzusehen).

Die resultierende Jahresganglinie der Verkehrsnachfrage setzt sich aus 8 760 Stundenwerten zusammen. Diese müssen wegen der erforderlichen Kompatibilität mit den Kapazitätswerten (s. u.) in 5-Minuten-Werte umgewandelt werden. Bei der Umrechnung werden systematische und zufällige Schwankungen der Verkehrsnachfrage innerhalb eines Stundenintervalls berücksichtigt.

Ein Schwerpunkt der Untersuchung ist die Analyse systematischer und zufälliger Schwankungen der Kapazität von Straßen. Dabei wird die Kapazität als eine Zufallsgröße aufgefasst. Es wurden mehrere Methoden zur Bestimmung der Kapazität getestet und bewertet. Im Ergebnis wird die Verteilungsfunktion der Kapazität entsprechend einer Lebensdauerverteilung mit einer Maximum-Likelihood-Methode geschätzt. Dazu werden Intervalle unmittelbar vor einem Zusammenbruch (unzensierte Daten) und Intervalle mit freiem Verkehrsfluss (zensierte Daten) verwendet. Basis sind die Ergebnisse von Dauerzählungen in 5-Minuten-Intervallen.

Neben zufälligen Schwankungen der Kapazität unterliegt die maximal mögliche Verkehrsstärke auch systematischen Veränderungen. Solche systematischen Unterschiede bestehen zwischen nassen und trockenen Umfeldbedingungen. Als zufällige Schwankungen wurden die Unterschiede bei gleichen äußeren Randbedingungen angesehen.

An vier gravierenden Engpässen im Autobahnnetz wurden über den Zeitraum eines ganzen Jahres Verkehrsdaten erhoben. Auf dieser Grundlage wurden für zwei- bis vierstreifige Richtungsfahrbahnen von Autobahnen innerhalb und außerhalb von Ballungsgebieten Wahrscheinlichkeitsfunktionen der Kapazität (nasse und trockene Verhältnisse) hergeleitet.

Im Ganglinienmodell für die Vorhersage der Kapazität wird jedem 5-Minuten-Intervall eines ganzen Jahres entsprechend der auf die Straße zutreffenden Wahrscheinlichkeitsfunktionen ein Wert für die momentane Kapazität zugewiesen. Weitere Variablen sind die Parameter "nass" oder "trocken" sowie "Störfall" oder "kein Störfall", die ggf. eine Reduzierung der Kapazität bewirken. Wenn die Verkehrsnachfrage erstmalig die Kapazität

überschreitet, kommt es zum Zusammenbruch des Verkehrs. In diesem Fall wird eine weitere Reduzierung der Kapazität wirksam (capacity-drop).

Ursprünglich wurde für die Ermittlung der verkehrstechnischen Parameter das Staumodell nach der Kontinuitätstheorie erster Ordnung vorgesehen. Dies setzt für die vollständige Anwendbarkeit jedoch voraus, dass von jedem untersuchten Abschnitt ein Zusammenhang zwischen der Verkehrsstärke (q) und der Verkehrsdichte (k) bekannt ist (Fundamentaldiagramm). Problematisch ist auch die Bereitstellung von Eingangsdaten bei sehr starker Überlastung. Weil das Ziel des Projektes eine allgemein anwendbare Methodik ist, wurde dieser Ansatz verworfen. Zum Einsatz kam daraufhin ein stochastisches Warteschlangenmodell, das sich durch größtmögliche Einfachheit auszeichnet.

Bei der Verkehrsleistung wurde das jeweilige Maximum bestehender Straßen und sein Verhältnis zur Kapazität zunächst mit einem klassischen Verkehrsflussmodell bestimmt. Das Modell erweist sich aber gerade im Bereich der maximalen Verkehrsleistung und der Kapazität als unzureichend. Deshalb wurde unter Berücksichtigung der Stabilität des Verkehrsflusses – ausgedrückt durch die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenbruchs – der Erwartungswert der Verkehrsleistung ermittelt.

Die Berücksichtigung der vielfältigen aufgedeckten zufälligen Einflüsse auf Nachfrage, Kapazität und Zeitverluste gelingt nur durch die Nachbildung in einem Simulationsprogramm. Deshalb ist ein einfaches Simulationsprogramm erstellt worden, das eine Schätzung der erwartbaren Zeitverluste während eines Jahres ermöglicht.

3. Untersuchungsergebnisse

Die repräsentative Abbildung der Ganglinien der Verkehrsnachfrage stellt sich als schwierig heraus. Eine Gegenüberstellung einer ganzjährigen Ganglinie, die aus Typganglinien erzeugt wurde, mit der Realität weist auf merkbare Abweichungen hin. Als die relativ zuverlässigste Schätzmethode für Jahresganglinien erwies sich die Verwendung gezählter täglicher Verkehrsstärken, die mit typisierten Ganglinien zu stündlichen Mustern aufgelöst werden. Betreffs der Verkehrsnachfrage sind in Zukunft weiter gehende Überlegungen erforderlich.

Das Projekt erforderte die Erarbeitung von Aussagen zu grundlegenden Fragen der Theorie des Verkehrsflusses. Die Untersuchung der stochastischen Eigenschaft der Kapazität ergab starke Anhaltspunkte für den erheblichen Einfluss zufälliger Ereignisse auf das Leistungsvermögen der Autobahnen. Dabei erwiesen sich die aus der Schätzung von Lebensdauerverteilungen stammenden Untersuchungsverfahren als in der Straßenverkehrstechnik anwendbar. Sie wurden hier weiterentwickelt in Richtung auf die Schätzung der Kapazität im fließenden Verkehr.

Die Analyse der stochastischen Eigenschaften der Kapazität von Autobahnen ergab für die vier Anwendungsfälle (jeweils bezogen auf 5-Minuten-Intervalle):

- Die Kapazität einer Autobahn im fließenden Verkehr (oberer Ast des q - v -Diagramms) kann als Weibull-verteilte Zufallsgröße aufgefasst werden.
- Die Standardabweichung der Kapazität beträgt etwa 9 % der mittleren Kapazität.
- Der so genannte capacity-drop (Unterschied der Kapazität im fließenden und im stauenden Verkehr) beträgt etwa 24 %.
- Die Kapazität ist bei Nässe um etwa 14 % niedriger als bei Trockenheit.

- Unterschiede der Kapazität zwischen hell und dunkel konnten nicht festgestellt werden.

Die Gegenüberstellung der Verkehrsnachfrage mit der Kapazität über ein ganzes Jahr hinweg kann erfolgreich durchgeführt werden. Dabei gelingt es, folgende Schritte in die Betrachtung mit einzubeziehen:

- systematischer Verlauf und stochastischer Charakter der Nachfrage,
- systematische (nass/trocken, Ballungsgebiet/Verbindungsstrecke) und zufällige Unterschiede der Kapazität der Strecken,
- Unfälle und Fahrzeugpannen mit ihren Auswirkungen auf den Verkehrsfluss,
- Schätzung der Zeitverluste durch ein stochastisches Warteschlangenmodell.

Im Ergebnis lassen sich so durch eine Monte-Carlo-Technik die erwartbaren Zeitverluste durch Störungen und zeitweilige Überlastungen schätzen. Die ökonomischen Auswirkungen können als Eingangsgröße für eine Nutzen-Kosten-Rechnung eingeschätzt werden.

Es zeigt sich eine hohe Sensibilität des Ergebnisses:

Die geschätzten Verlustzeiten hängen sehr stark von den Details der Nachfrageganglinien und den örtlichen Besonderheiten der Kapazitätsverteilung ab. Hier spiegelt das Modell wieder, wie empfindlich die Qualität des Verkehrsablaufs auf kleine Veränderungen von Nachfrage und Kapazität reagiert. Die bislang berechneten verkehrstechnischen Parameter sind als Annäherungen anzusehen.

Die Ganzjahresanalyse erweist sich grundsätzlich als ein gangbarer Weg, die Qualität des Verkehrsablaufs über ein ganzes Jahr zu schätzen und die dabei eintretenden ökonomischen Auswirkungen genauer zu erfassen als dies bisher (z. B. nach EWS) möglich ist. Zur Durchführung dieser Berechnungen ist ein EDV-Programm entwickelt worden, das die o. g. Einflüsse berücksichtigt.

Außer in der Ganzjahresanalyse sind die stochastischen Eigenschaften der Kapazität auch im Konzept der Leistungsfähigkeit von Straßen im physikalischen Sinne anwendbar. Wenn man den Zufallseinfluss berücksichtigt, kann das höchste Leistungsvermögen eines Autobahnabschnitts bei einer Verkehrsstärke erwartet werden, die etwa 90 % derjenigen Kapazität entspricht, wie man sie mit traditionellen Methoden (z. B. HBS) einschätzt. Dadurch wird bekräftigt, dass die Stufe D der Qualität des Verkehrsablaufs nach HBS bei einer Auslastung von etwa 0,9 ihre Grenze hat. Bei dieser Belastung wird einerseits die Anlage sehr hoch ausgenutzt, andererseits können die Verkehrsteilnehmer noch eine ausreichende Verkehrsqualität erwarten.

Insgesamt steht mit der Methode der Ganzjahresanalyse eine Technik zur Verfügung, die das Leistungsvermögen einer Straße detaillierter abbildet als dies durch bisherige Methoden möglich ist. Die dadurch gewonnene Genauigkeitssteigerung der Ergebnisse erfordert aber auch auf Seiten der Eingangsgrößen eine hohe Detailliertheit.

4. Folgerungen für die Praxis

Langfristig sollte sich die Denkweise in der Praxis der Straßenverkehrstechnik von der Vorstellung fester Kapazitäten der Straßen lösen. Dies hat weit gehende Auswirkungen auf die Steuerung von Straßen (z. B. Verkehrsbeeinflussung) und auf die Dimensionierung. Die gewonnenen Erkenntnisse können sich auf grundsätzliche Überlegungen bei der Weiterentwicklung des HBS auswirken.

Die hier entwickelte Technik kann vor allem Eingang in die wirtschaftliche Bewertung von Straßenplanungen im Sinne der EWS finden. Es ist langfristig sinnvoll, eine Ganzjahresanalyse an Stelle der vereinfachten Rechnungen der heutigen EWS einzuführen. Die Ergebnisse des Projektes sind hier aber eher als grundsätzliche Denkanstöße und als Erkundung der bestehenden Möglichkeiten aufzufassen. Vor einer praktischen Anwendung sind weitere Fragen zu klären.

5. Offene Fragen

Die abgeschlossene Untersuchung ist als ein erster Schritt in eine verfeinerte Bewertungstechnik für vorhandene und geplante Straßen anzusehen. Bevor diese genaue Analyseverfahren generell in der Praxis angewendet wird, sollten weitere Schritte zu ihrer Absicherung erfolgen. Dazu gehören:

- Entwicklung einer Technik zur Herleitung repräsentativer Jahresganglinien der Verkehrsnachfrage für Fernstraßen jeglicher Netzfunktion,
- Einbau von Steigungsstrecken und Arbeitsstellen in das Programm,

- verbesserte Berücksichtigung des Schwerverkehrs, verbesserte Überprüfung des Modells an real existierenden Streckenabschnitten, die über eine vollständige Dokumentation der Verkehrsqualitäten im Laufe eines Jahres verfügen,
- Sensitivitätsanalyse, d. h. Prüfung auf Robustheit der Verfahrensergebnisse in Abhängigkeit von vergleichsweise geringen Änderungen der Eingangsdaten und Modellparameter. Dabei ist zu prüfen, inwieweit die festgestellte Empfindlichkeit der Ergebnisse in Bezug auf kleine Änderungen – insbesondere der Nachfrageganglinie – der Realität entspricht. Zugleich ist zu erkunden, ob die Stabilität der errechneten Zeitverluste in Richtung auf die Schätzung eines Erwartungswertes verbessert werden kann.

Bevor der Weg in eine derartige Verfeinerung der Methodik fortgesetzt wird, sollte in Fachkreisen diskutiert werden, inwieweit die angestrebte Aussagegenauigkeit gewünscht ist und für realisierbar gehalten wird. Insofern sollten die jetzt dargestellten Ergebnisse entsprechenden Fachkreisen vorgelegt werden. Zusätzlich sollten Erfahrungen mit probeweisen Anwendungen der Methode gesammelt werden. □