

HBS-konforme Simulation des Verkehrsablaufs auf Autobahnen

FA 3.460

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

Technische Universität München, Lehrstuhl für Verkehrstechnik (Univ. Prof. Dr.-Ing. F. Busch)

Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Verkehrswesen (Prof. Dr.-Ing. P. Vortisch)

Trapp Verkehrsplanung, Trier

Bearbeiter: Geistefeldt, J. / Vortisch, P. / Busch, F. / Giuliani, S. / Schendzielorz, T. / Rascher, A. / Leyn, U. / Trapp, R.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: November 2015

1 Aufgabenstellung

Grundlage für die verkehrstechnische Bemessung von Straßen in Deutschland ist das "Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen" (HBS). Die darin enthaltenen Bemessungsverfahren gelten jedoch nur unter bestimmten Voraussetzungen. Sind die Randbedingungen nicht eingehalten, wird häufig auf die mikroskopische Verkehrsflusssimulation als alternatives Verfahren zur Bewertung der Qualität des Verkehrsablaufs zurückgegriffen. Die Entscheidung, welche verkehrstechnischen Kenngrößen für eine Bemessung aus den Simulationen ermittelt werden, wird dabei häufig dem Anwender überlassen. Dabei stellt sich die Frage, inwiefern die ermittelten Kenngrößen eine mit dem HBS konsistente Bestimmung der Verkehrsqualität erlauben. In den "Hinweisen zur mikroskopischen Verkehrsflusssimulation" der FGSV werden zwar allgemeine Angaben zur Durchführung von Simulationsstudien gegeben, darüber hinausgehende Vorgaben existieren in den deutschen Regelwerken bislang jedoch nicht. Dieser Umstand erschwert den Straßenbauverwaltungen als Auftraggeber von Simulationsstudien die Prüfung, ob eine in Auftrag gegebene Studie sachgerecht durchgeführt wurde und ob deren Ergebnisse belastbar sind.

Für Autobahnen wird in den Bemessungsverfahren des HBS der Auslastungsgrad als Maß der Verkehrsqualität verwendet. Der Auslastungsgrad lässt sich jedoch nur indirekt ermitteln. Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Simulation mit dem HBS ist nur gegeben, wenn in beiden Fällen dieselbe Kenngröße zugrunde gelegt wird. In Simulationsstudien muss demnach analog zum analytischen Verfahren die Kapazität der Verkehrsanlage ermittelt werden, um den Auslastungsgrad ableiten zu können. Ziel der Untersuchung war es daher, ein einheitliches Verfahren zur HBS-konformen Bestimmung der Kapazität von Standardelementen von Autobahnen aus mikroskopischen Simulationen zu erarbeiten und die Übertragbarkeit der damit ermittelten Parameterkombinationen auf nicht HBS-konforme Untersuchungsobjekte zu prüfen. Die Methodik soll als zukünftiger Standard zur Durchführung von Simulationsstudien die-

nen, mit denen die Leistungsfähigkeit von Varianten, die nicht den Randbedingungen der HBS-Bemessungsverfahren entsprechen, bewertet wird.

Zudem wurden Standardparameterkombinationen für die fünf gängigen Simulationsprogramme BABSIM, VISSIM, Aimsun, Paramics und SUMO ermittelt, die als Ausgangswerte für die Kalibrierung von Simulationsmodellen bei praktischen Anwendungen verwendet werden können.

2 Untersuchungsmethodik

Den Bemessungsverfahren des HBS liegt grundsätzlich eine Betrachtung der relevanten Kenngrößen in Stunden-Intervallen zugrunde. Für eine praxisgerechte Anwendung in Simulationsstudien ist eine Auswertung der Ergebnisse in Stunden-Intervallen aufgrund der dafür benötigten langen Simulationszeiträume jedoch nicht zielführend. Die Ermittlung der Kapazität basiert daher auf einer Analyse von 5-Minuten-Intervallen. Dabei kann der Mittelwert der Verkehrsstärken vor dem Zusammenbruch in 5-Minuten-Intervallen als Schätzwert der Kapazität in Stunden-Intervallen aufgefasst werden. Durch dieses Vorgehen reicht eine Dauer von 90 Minuten je Simulationslauf für die Kapazitätsermittlung aus.

In den fünf betrachteten Simulationsprogrammen BABSIM, VISSIM, Aimsun, Paramics und SUMO wurden zunächst 15 Laborobjekte als Referenzobjekte modelliert, die Standardelemente der RAA darstellen und nach den Bemessungsverfahren des HBS analytisch bewertbar sind. Die Laborobjekte umfassen eine breite Auswahl von Elementen und Elementkombinationen von Strecken von Autobahnen und planfreien Knotenpunkten. Für die Referenzobjekte wurden entsprechende Untersuchungsobjekte im Autobahnnetz identifiziert und Daten von Dauerzählstellen über einen Zeitraum von drei Monaten ausgewertet. An drei Objekten wurden Messungen mikroskopischer Kenngrößen des Verkehrsablaufs durchgeführt. Zudem wurden Fahrtzeitmessungen auf einem Netzabschnitt durchgeführt. Die empirischen Erhebungen dienten in erster Linie der Plausibilisierung der Einstellungen der anhand der HBS-Bemessungswerte kalibrierten Simulationsmodelle. Die Daten wurden insbesondere dann zum Vergleich herangezogen, wenn Besonderheiten in den Ergebnissen einzelner Simulationsprogramme auftraten. Die Analyse der empirischen Daten lieferte jedoch auch Aussagen zum neuen Ansatz in Kapitel A4 des HBS 2015 für die Bemessung planfreier Knotenpunkte in Kombination mit dem angewandten Verfahren zur Kapazitätsermittlung. Die empirischen Analysen zeigten insbesondere eine große Bandbreite der ermittelten Kapazitäten.

Die Modelle der Laborobjekte bestehen jeweils aus einem Vorlaufbereich, dem eigentlichen Netzelement und einem Nachlaufbereich. Die Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs an Teilknotenpunkten wird im HBS 2015 über die Verkehrsstärke auf der Hauptfahrbahn und der Rampe aus Bemessungsdiagrammen ermittelt. An Teilknotenpunkten sind verschiedene Verhältnisse der Verkehrsstärke zwischen Rampe und Hauptfahrbahn möglich, die einen Verkehrszusammenbruch auslösen und folglich eine Kapazitätsermittlung ermöglichen. Um die Belastungsverhältnisse jedes Teilknotenpunkts möglichst gut abzudecken,

wurde ein Ansatz zur Ermittlung von je sechs Belastungsverhältnissen G_1 bis G_6 für jeden Teilknotenpunkt entwickelt. Das Belastungsverhältnis G_1 repräsentiert dabei den höchsten Verkehrsstärkeanteil der Aus- oder Einfahrt. Über die Simulationsdauer von 90 Minuten wurde – bei konstantem Belastungsverhältnis von Hauptfahrbahn und Rampe – die Verkehrsnachfrage in 5-Minuten-Intervallen von 10 bis 120 % der Kapazität nach HBS gesteigert. Die Simulationsläufe wurden für jedes Teilknotenpunktmodell mit zehn unterschiedlichen Startzufallszahlen und für jedes Streckenmodell mit 30 unterschiedlichen Startzufallszahlen durchgeführt. Die Ermittlung der Kapazität aus den Simulationsuntersuchungen erfolgte durch die Analyse von Geschwindigkeitseinbrüchen unter eine für jedes Modell und für jedes Belastungsverhältnis definierte Grenzggeschwindigkeit. Die Messung der Geschwindigkeit erfolgte dabei an einem für den jeweiligen Teilknotenpunkt charakteristischen Messquerschnitt auf dem rechten Fahrstreifen.

Für die Parameterkalibrierung wurde ein iterativer Ansatz nach dem Trial-and-Error-Prinzip verfolgt. Zunächst wurden die Einstellungen in den Modellen vorgenommen, in denen die Streckenkapazität für die Ermittlung der Qualitätsstufe des Verkehrsablaufs maßgebend ist. Dazu zählen neben den Streckenelementen auch die Richtungsfahrbahnen stromabwärts von Einfahrten. Diese Modelle wurden an den q-v-Beziehungen und den Kapazitätswerten des HBS geeicht. Anschließend wurden die Parametersätze für die weitere Kalibrierung der Modelle der Teilknotenpunktelemente verwendet. Für die Kalibrierung der Ein- und Ausfahrten wurde nur das Fahrverhalten im Umfeld des Knotenpunktbereichs mit dem Verflechtungsbereich und einem begrenzten Abschnitt der Richtungsfahrbahn stromaufwärts der Trenninselspitze an Einfahrten beziehungsweise des Ausfädelungstreifens an Ausfahrten angepasst. Die Parameter der Richtungsfahrbahn im Vor- und Nachlaufbereich wurden nicht mehr verändert. Ziel der Kalibrierung war es, so wenige Voreinstellungen wie möglich zu verändern, um die Übertragbarkeit der Parameter auf andere Elemente nicht unnötig einzuschränken. Insbesondere wurde für alle Objekte des Einfahrtstyps E 1 in Kombination mit Richtungsfahrbahnen unterschiedlicher Fahrstreifenanzahl in jedem Simulationsprogramm nach Möglichkeit nur ein Parametersatz für den Einfahrtbereich ermittelt.

Anhand des Netzabschnitts der BAB A 3 zwischen Autobahnkreuz Ratingen-Ost und Autobahnkreuz Hilden in Fahrtrichtung Süd wurde die Kombinationsmöglichkeit verschiedener HBS-konformer Elemente mit den getrennt voneinander kalibrierten Parametersätzen in einem Simulationsmodell geprüft. Der Netzabschnitt wurde in den Simulationsmodellen nachgebildet und bis zu einem Auslastungsgrad von 90 % bezogen auf die Streckenkapazität der dreistreifigen Richtungsfahrbahn nach HBS belastet. Die Verkehrsstärken wurden in Form von Quelle-Ziel-Matrizen hinterlegt und wie in den anderen HBS-konformen Simulationsmodellen in 5-Minuten-Intervallen gesteigert. Zwischen den Messquerschnitten am Beginn und am Ende der Untersuchungsstrecke wurden die Fahrzeiten aller durchfahrenden Fahrzeuge aufgezeichnet und die mittlere Fahrtgeschwindigkeit über einen Zeitraum von einer Stunde ermittelt. Daraus erfolgte die Berechnung des Fahrtgeschwindigkeitsindex nach Kapitel A5 des HBS. Das Vorgehen entspricht der Herangehensweise zur empirischen Ermittlung des Fahrtzeitin-

dex. Für die in der Simulation erreichten Streckenbelastungen wurde der Fahrtzeitindex als Vergleichswert analytisch nach HBS ermittelt.

Die Übertragbarkeit der Parameterkombinationen von HBS-konformen Bemessungssituationen auf nicht HBS-konforme Konstellationen wurde am Beispiel realer Untersuchungsobjekte überprüft. Dazu wurden typische Konstellationen im Autobahnnetz identifiziert, deren verkehrliche oder streckengeometrische Randbedingungen die Voraussetzungen für eine analytische Bemessung nach HBS nicht erfüllen:

- Elementkombinationen Hauptfahrbahn – Verteilerfahrbahn – Verflechtungsstrecke am Beispiel des AK Leverkusen an der BAB A 1,
- dichte Knotenpunktabstände in Kombination mit EE-Einfahrten am Beispiel des AK München-Nord an der BAB A 99,
- Abschnitte mit besonderen Steigungsverhältnissen am Beispiel der BAB A 8 am Irschenberg,
- Anschlussstellen ohne Zuflussregelung mit LSA im Zulauf am Beispiel der AS Oberschleißheim an der BAB A 92.

Für diese Untersuchungsobjekte wurden Daten von Dauerzählstellen ausgewertet. Am AK München-Nord und an der AS Oberschleißheim wurden zusätzliche Messungen durchgeführt.

Die Parameterübertragung wurde im Sinne einer Validierung der HBS-konformen Standardparameterkombinationen vorgenommen. Für diejenigen Knotenpunkttypen, die nicht bereits in dieser Form in den HBS-konformen Elementen behandelt wurden, wurden Parameter ähnlicher Elemente aus den Kombinationen der HBS-konformen Elemente für die Validierung verwendet. Dies betraf die Untersuchungsobjekte AK Leverkusen und AK München-Nord. Die Güte der Simulationsergebnisse wurde durch einen Vergleich von Fahrstreifenaufteilungen und q-v-Beziehungen empirischer Datensätze an mehreren charakteristischen Messquerschnitten in den Netzen bewertet.

3 Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse der Kalibrierung der HBS-konformen Standardelemente zeigen insgesamt, dass die relativ eng gefassten Fehlergrenzen von 5 % für Abweichungen zur Kapazität nach HBS für den Großteil der betrachteten Objekte mit den verwendeten Simulationsprogrammen eingehalten werden konnten. Lediglich mit dem Simulationsprogramm SUMO, welches in erster Linie für die Nachbildung innerstädtischer Verkehre konzipiert ist, zeigten sich deutlich größere Abweichungen.

Der untersuchte Netzabschnitt setzt sich aus mehreren HBS-konformen Standardelementen zusammen. Die ermittelten Standardparameterkombinationen wurden unverändert für die Simulation des Netzabschnitts verwendet. Die aus den Simulationen gemessenen Werte liegen in allen Simulationsprogrammen im Bereich des analytisch nach Kapitel A5 des HBS ermittelten Vergleichswerts. Die analytische Berechnung des Fahrtgeschwindigkeitsindex wurde auch für die während der Messung vorherrschenden Verkehrsbelastungen durchgeführt. Der Berechnung wurde ein einstündiger Zeitraum aus der Messung zugrunde gelegt, in dem die Richtungsfahrbahn zu knapp 90 %

ausgelastet war. Hier lag der gemessene Wert um ca. 20 % über der analytisch ermittelten Fahrtgeschwindigkeit nach HBS. Die geringere rechnerische Fahrtgeschwindigkeit in dem Bemessungsverfahren des HBS ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die q-v-Bemessungsdiagramme des HBS für Strecken von Autobahnen im Bereich hoher Auslastungsgrade das Risiko eines Verkehrszusammenbruchs einbeziehen und daher geringere als die in der Realität im fließenden Verkehr auftretenden Geschwindigkeiten ausweisen.

Der Vergleich der empirischen Ergebnisse mit den Ergebnissen der Simulationsmodelle zeigt eine generelle Übertragbarkeit der Parametersätze unter Verwendung der hier dargelegten Vorgehensweise. Aufgetretene Abweichungen zwischen Simulation und Realität sind größtenteils auf die an den Untersuchungsobjekten installierten Streckenbeeinflussungsanlagen zurückzuführen, die aufgrund nicht gegebener Voraussetzungen der Simulationsprogramme beziehungsweise fehlender Steuerungsparameter in den Simulationen nicht nachgebildet werden konnten. Die abgeleiteten HBS-konformen Parameterkombinationen können folglich in Simulationsstudien als Ausgangswerte für die situationsspezifische Kalibrierung und Validierung nicht HBS-konformer Netzelemente verwendet werden. Parametersätze aus Studien für Situationen, die im Rahmen der HBS-konformen Elemente in dieser Untersuchung nicht abgedeckt wurden, können mithilfe der hier dargelegten Vorgehensweise auf HBS-Konformität überprüft werden.

4 Folgerung für die Praxis

Insgesamt hat die Untersuchung aufgezeigt, dass die mikroskopische Verkehrsflusssimulation ein leistungsfähiges Verfahren zur Ermittlung der Qualität des Verkehrsablaufs auf Autobahnen darstellt. In Konstellationen, in denen die Anwendungsgrenzen des HBS überschritten werden, kann die mikroskopische Verkehrsflusssimulation als geeignete Alternative zur analytischen Bemessung eingesetzt werden. Durch die Verwendung der ermittelten Standardparameterkombinationen als Ausgangswerte für die Kalibrierung können Simulationsstudien effizienter durchgeführt werden. Die entwickelte Methodik zur Kapazitätsermittlung hat sich sowohl zur Bestimmung der Kapazität aus den Simulationsergebnissen als auch für Kapazitätsermittlung aus empirischen Verkehrsdaten bewährt. Die Vorgehensweise in Kombination mit den Empfehlungen zur Durchführung der Simulationen wird als Standard für zukünftige Studien vorgeschlagen.

Im Ergebnis der Untersuchung werden Empfehlungen und Standardparameterkombinationen für die HBS-konforme Simulation von Autobahnen mit gängigen mikroskopischen Simulationswerkzeugen bereitgestellt, die als Ausgangsparameter für die Simulation nicht HBS-konformer Untersuchungsobjekte herangezogen werden können. Die erarbeiteten Empfehlungen sollen in einen Leitfaden für die Durchführung und Bewertung von Simulationsstudien einfließen.