

Fortentwicklung und Bereitstellung eines bundeseinheitlichen Simulationsmodells für Bundesautobahnen, Teil C: Erweiterung des Softwareprogramms BABSIM um ein Verhaltensmodell zur Abbildung der in der RAA dargestellten Typen von Ein- und Ausfahrten

FA 1.157

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswesen (Prof. Dr.-Ing. W. Brilon) / Lehrstuhl für Ingenieurinformatik im Bauwesen (Prof. Dr.-Ing. D. Hartmann)

Bearbeiter: Brilon, W. / Hartmann, D. / Harding, J. / Erlemann, K.

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

Abschluss: Dezember 2006

1 Aufgabenstellung

Im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) wurde von der Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswesen und Lehrstuhl für Ingenieurinformatik im Bauwesen ein mikroskopisches Simulationsprogramm für die Nachbildung des Verkehrsablaufs auf Autobahnen entwickelt (FA 1.157; Brilon, Hartmann, Erlemann, Harding et al., 2004). In einem nächsten Schritt wurde auf Weisung des BMVBW (heutiges BMVBS) ein Anwendertest unter Beteiligung der Straßenbauverwaltungen verschiedener Länder durchgeführt. Dabei wurde untersucht, in welchem Umfang bei den Straßenbauverwaltungen der Länder Bedarf für ein solches Programm besteht und ob BABSIM für die in der Praxis relevanten Anwendungen geeignet ist. Die Ergebnisse der Untersuchung, die von der Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswesen organisiert und betreut wurde, sind in einem Nachtrag zu dem oben genannten Schlussbericht zusammengefasst (Brilon, Harding, 2005).

BABSIM wurde für zwei- und dreistreifige Richtungsfahrbahnen und Anschlussstellen vom Typ E1 und A1 der Richtlinie für die Anlage von Autobahnen (RAA) entwickelt. Für diese Anwendungsfälle wurden in verschiedenen Anwendungen vollständige und nachvollziehbare Ergebnisse erreicht. Im Zuge des Anwendertests wurde jedoch deutlich, dass die konkreten Einsatzgebiete für Untersuchungen mithilfe der Simulation über die bislang in BABSIM vorgesehenen Standardtypen der Anschlussstellen hinausgehen. Da mehrstreifige Ein- und Ausfahrten in den vorhandenen Verhaltensmodellen nicht berücksichtigt sind, kann es bei der Umsetzung solcher Anwendungsfälle zu Programmfehlern und unrealistischem Fahrverhalten kommen. Daher wurde als eines der Ergebnisse des Anwendertests festgehalten, dass die komplexen Anforderungen der Praxis eine Weiterentwicklung des Modells für Ein- und Ausfahrten erfordern, sodass auch Bereiche hoher Verkehrsstärken und weitere Anschlussstellentypen zuverlässig nachgebildet werden können.

Ziel des vorliegenden Forschungsauftrags war es daher, ein neues Verhaltensmodell zu entwickeln, mit dem die in der RAA dargestellten Typen von Ein- und Ausfahrten abgebildet werden können. Dieses Verhaltensmodell soll in die Software eingebunden und anhand verschiedener Anwendungsfälle kalibriert werden.

2 Untersuchungsmethodik

Das bislang in BABSIM verwendete Verhaltensmodell für den Bereich von Anschlussstellen wurde von Theis (1997) speziell

für den Anwendungsfall einstreifiger Aus- und Einfahrten entwickelt. Eine Erweiterung des sehr komplexen Modells, das zahlreiche ineinander verschachtelte Abfragen und mehr als 1 000 Zeilen Programmtext aufweist, würde sich als äußerst schwierig erweisen. Zudem würde das Einfügen weiterer geschachtelter Alternativen die Übersichtlichkeit des Quelltextes noch erhöhen und Probleme beim Debugging und der Wartung nach sich ziehen. Aus diesen Gründen wurde eine Erweiterung des vorhandenen monolithischen Modells verworfen und stattdessen ein komplett neues Verhaltensmodell entwickelt.

Das neue Modellkonzept basiert auf der Unterteilung des Fahrverhaltens in verschiedene Module, in denen jeweils eine elementare Aufgabe oder Absicht nachgebildet wird. Dazu zählen das Abstandsverhalten zum Vorderfahrzeug auf dem eigenen Fahrstreifen, das Überholen langsamer Fahrzeuge, die Einhaltung des Rechtsfahrgebots, das Vermeiden gefährlicher Fahrstreifenwechsel, das Verfolgen der eigenen Route sowie gegebenenfalls die Unterstützung anderer Fahrzeuge beispielsweise im Bereich von Einfahrten. Jedes Modul liefert unabhängig von den anderen Absichten bei jedem Simulationsschritt eine situationsabhängige Empfehlung für das Längs- und Querverhalten, die dann auf einer übergeordneten Ebene des Verhaltensmodells bewertet und zu einem Gesamtergebnis in Form einer Resultierenden zusammengeführt wird. Dabei werden die Empfehlungen der einzelnen Absichten normiert, sodass auch einander widersprechende Empfehlungen berücksichtigt und einer einheitlichen Bewertung unterzogen werden können. Zudem wird in dem Modell berücksichtigt, dass sich die Entscheidungen des Fahrverhaltens nicht nur aus der aktuellen Situation, sondern als Ergebnis eines zeitkontinuierlichen Prozesses ergeben. Mit diesem Konzept können die Entscheidungen der Fahrer realitätsnah nachgebildet werden.

Das neu entwickelte Verhaltensmodell wurde in BABSIM eingearbeitet. Anders als bei der ursprünglichen Entwicklung von BABSIM, bei der das Ziel verfolgt wurde, möglichst wenige Parameter für den Benutzer freizugeben, um für Benutzer des Programms den Aufwand bei der Kalibrierung und Anwendung so gering wie möglich zu halten, wurde bei der Neuentwicklung ein anderer Weg gewählt. Um das Simulationsprogramm im Laufe der Kalibrierung und Anwendung noch möglichst gut anpassen zu können, wurden insgesamt 27 Parameter für den Benutzer zugänglich gemacht. Die Ergebnisse der Kalibrierung sollten dann Aufschluss darüber geben, ob gewisse Parameter gegebenenfalls gar nicht angepasst werden müssen und somit als Konstante in das Modell eingehen können und welche Parameter sich auf der anderen Seite als wichtige Stellgrößen für die Kalibrierung herausgestellt haben. Dabei sollte nicht nur auf die im Laufe dieses Projekts gewonnenen Erkenntnisse, sondern auch auf die Erfahrungen aus Brilon, Betz (2006) und Brilon, Geistefeldt (2006) zurückgegriffen werden.

Im Rahmen der Modellkalibrierung wurde anschließend untersucht, inwiefern die Modellannahmen geeignet sind, den Verkehrsablauf auf Autobahnen realitätsnah nachzubilden. Dazu standen für eine Vielzahl von Anwendungsfällen, die von der einfachen freien Strecke über einstreifige Einfahrten und Fahrstreifenreduktionen bis hin zu zweistreifigen Aus- und Einfahrten reichen, empirische Daten von Dauerzählstellen und empirischen Untersuchungen zur Verfügung. Diese wurden auf der Basis von 5-Minuten-Intervallen ausgewertet und den Simulationsergebnissen gegenübergestellt. Aufgrund der Vielzahl der zu untersuchenden Anwendungsfälle und des begrenzten Zeit-

und Finanzrahmens des Forschungsauftrags war es jedoch nicht möglich, für jeden Anwendungsfall eine vollständige Simulationsstudie durchzuführen. Vielmehr musste sich die Arbeit darauf beschränken, für jeden Anwendungsfall den Nachweis für die prinzipielle Verwendbarkeit des Simulationsprogramms zu erbringen. Aus denselben Gründen wurden auch jeweils nur die Ergebnisse einzelner Simulationsläufe und deren Auswertung dargestellt. Im Zuge der Modellkalibrierung wurden jedoch immer mehrere Simulationsläufe durchgeführt und hinsichtlich ihrer Streuung überprüft, sodass sichergestellt werden konnte, dass die ausgewerteten Simulationsläufe keine Ausreißer darstellen.

Bei der Durchführung der Kalibrierung wurden die Parameter des Simulationsmodells manuell so angepasst, dass eine möglichst gute Übereinstimmung mit den in der Realität beobachteten Verkehrsverhältnissen erreicht wird. Dabei wurde jeweils der gesamte Wertebereich der Verkehrsstärke betrachtet, für den empirische Daten vorlagen. Um diese Untersuchung effektiv durchführen zu können, wurde das Simulationsprogramm um eine Funktion ergänzt, die es dem Benutzer des Programms ermöglicht, für jede Quell-Ziel-Beziehung eine spezifische Ganglinie der Verkehrsnachfrage mithilfe eines grafischen Interfaces oder einer Datentabelle einzugeben. Als Bewertungsgrößen für die Übereinstimmung zwischen Simulation und Realität wurden die q - v -Beziehungen und die Fahrstreifenaufteilung gewählt. Zahlreiche Diagramme, in denen sowohl die Simulationsergebnisse als auch die empirischen Daten dargestellt sind, wurden für eine qualitative Beurteilung der Übereinstimmung herangezogen. Darüber hinaus wurden Regressionsanalysen durchgeführt, anhand derer auch quantitative Aussagen zur Übereinstimmung zwischen Simulation und Realität getroffen werden können.

3 Untersuchungsergebnisse

Fasst man die Ergebnisse der Modellkalibrierung zusammen, so zeigt sich für alle Anwendungsfälle eine insgesamt gute Übereinstimmung zwischen der Simulation und den empirischen Daten. Qualitativ lässt sich dies aus dem Vergleich der Punktwolken in den Diagrammen ableiten, die in weiten Teilen einen gleichförmigen, nahezu deckungsgleichen Verlauf aufweisen. Die Ergebnisse der Regressionsanalysen, die jeweils für den Vergleich zwischen den Daten aus Simulation und Messungen durchgeführt wurden, geben zudem einen Anhaltswert für die quantitative Bewertung. Die geringen Standardfehler und zumeist hohen Bestimmtheitsmaße weisen ebenfalls auf ein hohes Maß an Übereinstimmung hin. Dabei wurden die Ergebnisse in den meisten Fällen bereits mit wenigen gezielten Anpassungen der Parameter erreicht. Durch eine Optimierung der Parameter könnte die Anpassung der Simulation noch verbessert werden. Insgesamt bestätigen die Simulationsergebnisse die Eignung des gewählten absichtsbasierten Ansatzes und dessen Umsetzung in der Simulationssoftware.

Gleichzeitig lieferten die Kalibrierung und die Anwendung des Simulationsprogramms im Rahmen weiterer Forschungsarbeiten Hinweise auf die Relevanz der einzelnen Parameter des Verhaltensmodells. Aufgrund der so gesammelten Erfahrungen wurde ein Vorschlag für eine deutliche Reduzierung der Anzahl von Parametern erarbeitet, um den Aufwand der Kalibrierung für unerfahrene Benutzer zu verringern. Des Weiteren konnten Erfahrungswerte für die Belegung (Default-Werte) der Parameter gesammelt werden, die ebenfalls dokumentiert wurden, um zukünftigen Benutzern des Programms einen ersten Anhaltspunkt für die Kalibrierung bieten zu können.

4 Folgerungen für die Praxis

Das Simulationsprogramm BABSIM war in der bisherigen Form nur im begrenzten Maße praxistauglich, da lediglich Standard-

anschlussstellen mit einstreifigen Ein- und Ausfahrten nachgebildet werden konnten. Zudem zeigte das Simulationsmodell noch Schwächen, wenn diese Anschlussstellen hoch belastet waren. Durch die Entwicklung und Umsetzung des neuen absichtsbasierten Verhaltensmodells konnte nicht nur diese Schwäche behoben werden, sondern zusätzlich ein wesentlich breiteres Anwendungsspektrum für das Simulationsprogramm eröffnet werden. So konnte der Nachweis der Anwendbarkeit für ein- und zweistreifige Ein- und Ausfahrten sowie für eine Fahrstreifenreduktion mit einer hohen Qualität der Simulationsergebnisse erbracht werden.

Das Modell kann eingesetzt werden, um die Verkehrsqualität auf Autobahnen bei starkem Verkehr (bis hin zur Leistungsgrenze) zu untersuchen. Dabei können alle nach RAA vorgesehenen Formen von Ein- und Ausfahrten verwendet werden. Damit wird das Simulationsmodell ein Instrument, mit dem unterschiedliche Formen eines Entwurfs für eine Autobahn verkehrstechnisch verglichen werden können. Die Parameter des Verhaltens der Fahrer sind jedoch örtlich verschieden. Deswegen wird eine genaue Übereinstimmung mit der Realität vielfach erst nach örtlicher Eichung erreicht. So lange es sich um geplante Strecken handelt, wird auch mit den Default-Parametern eine brauchbare Darstellung der Verkehrsqualität erreicht.

Weiterentwicklungsbedarf für das Programm besteht bei der Nachbildung des Verkehrsablaufs im Bereich von Kleeblattknoten. Ungenauigkeiten in der Simulation können sich bei diesem Anwendungsfall dadurch ergeben, dass in der derzeitigen Version von BABSIM lediglich ein globaler Parametersatz verwendet wird. Für eine Verbesserung der Abbildungsgenauigkeit sollte das Programm dahingehend erweitert werden, dass einzelnen Elementen der Strecke spezielle Parameter (wie zum Beispiel die Entscheidungspunkte für einen Fahrstreifenwechsel) zugewiesen werden können. Zudem sollte angestrebt werden, einen Teil der Verhaltensparameter als Zufallsgrößen zu definieren. Auch bezüglich der Nachbildung des Verkehrsablaufs im Überlastungsfall, und hier im Speziellen bei der Nachbildung der Fahrstreifenwechsel, besteht noch weiterer Forschungsbedarf. Um die tatsächliche Verwendbarkeit des Programms präziser einschätzen zu können, wäre es wünschenswert, BABSIM in Zusammenarbeit mit Straßenbaubehörden oder Ingenieurbüros einem Praxistest zu unterziehen.