

Autobahnen und Autobahnknotenpunkte mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen – Gestaltung und Bemessung

FA 2.249

Forschungsstelle: Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Verkehrswesen, (Prof. Dr.-Ing. W. Brilon) Technische Universität Dresden, Institut für Verkehrsanlagen (Prof. Dr.-Ing. C. Lippold)

Bearbeiter: Brilon, W. / Geistefeldt, J. / Lippold, C. / Kuczora, V.

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

Abschluss: Dezember 2006

1. Aufgabenstellung

Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen sind in Deutschland bislang noch wenig verbreitet. Vor dem Hintergrund der steigenden Verkehrsbelastung auf Bundesautobahnen gewinnt der vierstreifige Ausbau von Richtungsfahrbahnen allerdings zunehmend an Bedeutung. Dies betrifft insbesondere hoch belastete Autobahnabschnitte in Ballungsräumen, die in der Regel durch eine dichte Folge von Knotenpunkten gekennzeichnet sind. Im Ausland gibt es zahlreiche Autobahnen mit vier oder mehr Fahrstreifen pro Fahrtrichtung. Dies gilt vor allem für die USA, wo im Bereich der großen Ballungszentren Autobahnen mit teilweise bis zu sieben Fahrstreifen pro Richtung in Betrieb sind.

Der Verkehrsablauf auf Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen ist in Deutschland bislang kaum wissenschaftlich erforscht. Spezielle Fragen des Verkehrsablaufs, der Verkehrssicherheit, der Entwurfstechnik und des Straßenbetriebs sind für diesen Autobahntyp noch nicht behandelt worden. Auch auf internationaler Ebene gibt es in den einschlägigen Literaturquellen und Richtlinien nur vereinzelte Angaben, die sich speziell auf Autobahnfahrbahnen mit vier oder mehr Fahrstreifen beziehen. Ziel der Untersuchung ist es, vorhandene Erkenntnisse aus dem In- und Ausland zu Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen zu dokumentieren und durch umfassende empirische Analysen zu erweitern. Im Mittelpunkt stehen die folgenden Fragestellungen:

- Welche Gestalt haben typische q-v-Diagramme von vierstreifigen Richtungsfahrbahnen? Wie groß ist die Kapazität solcher Querschnitte? Wie verteilt sich der Verkehr auf die vier Fahrstreifen?
- Gibt es Besonderheiten hinsichtlich des Geschwindigkeits- und Abstandsverhaltens der Verkehrsteilnehmer? Wie sind diese Aspekte im Hinblick auf die Verkehrsregelung und -steuerung zu beurteilen?
- Welches Sicherheitsniveau haben vierstreifige Richtungsfahrbahnen im Vergleich zu Autobahnen mit zwei oder drei Fahrstreifen pro Richtung? Bestehen bei vierstreifigen Querschnitten besondere Sicherheitsrisiken, die auf die Breite der Fahrbahn zurückzuführen sind?
- Welche Besonderheiten weist der Verkehrsablauf auf vierstreifigen Richtungsfahrbahnen im Bereich von Anschlussstellen und Autobahnknotenpunkten auf? Ergeben sich daraus spezifische Anforderungen an den Entwurf von Ein- und Ausfahrten sowie an die Regeln für die Wegweisung und Beschilderung?

- Welche speziellen technischen Anforderungen sind an den Entwurf breiter Fahrbahnen zu stellen – insbesondere hinsichtlich der Entwässerung?
- Welche besonderen Probleme und Anforderungen bestehen bei vierstreifigen Richtungsfahrbahnen im Hinblick auf den Straßenbetrieb, die Unterhaltung und Erneuerung?

Die Ergebnisse der Untersuchung sollen als Planungsgrundlage für den Entwurf, die verkehrstechnische Bemessung und den Betrieb von Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen dienen.

2. Untersuchungsmethodik

Ausgangspunkt der Untersuchung ist eine umfassende Dokumentation und Analyse des nationalen und internationalen Kenntnis- und Erfahrungsstands zu Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen. In Deutschland, den Niederlanden und den USA wurden bestehende Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen durch Videoaufnahmen aus dem fahrenden Fahrzeug dokumentiert. Erfahrungen im Zusammenhang mit dem Entwurf, der baulichen Ausführung, dem Betrieb, dem Verkehrsablauf und der Verkehrssicherheit wurden unter anderem im Rahmen von Expertengesprächen mit Vertretern von Straßenbauverwaltungen und Dienststellen in Hessen, Nordrhein-Westfalen, den Niederlanden und den USA erörtert.

Für die empirische Analyse makroskopischer Parameter des Verkehrsablaufs standen umfangreiche Verkehrsdaten automatischer Dauerzählstellen an Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen in Deutschland zur Verfügung. Unter Berücksichtigung der Lage der Dauerzählstellen und der Vollständigkeit der jeweiligen Datensätze wurden insgesamt 16 Querschnitte für die weiteren Auswertungen ausgewählt. Die Gestalt des q-v-Diagramms wurde auf der Grundlage von 5-Minuten- und Stunden-Intervallen untersucht. Anhand einer qualitativen Analyse der Daten wurden repräsentative Querschnitte mit unterschiedlichen Geschwindigkeitsregelungen für eine detaillierte Betrachtung und die Anpassung von Verkehrsflussmodellen ausgewählt. Für die Analyse der Fahrstreifenaufteilung wurden die empirischen Verkehrsstärkeanteile der einzelnen Fahrstreifen in Abhängigkeit von der Verkehrsstärke des Gesamtquerschnitts ausgewertet. Es wurden mittlere Verläufe der Fahrstreifenaufteilung hergeleitet und in Abhängigkeit von der Nähe der jeweiligen Querschnitte zu Knotenpunkten bewertet. Die Analyse der Kapazität vierstreifiger Richtungsfahrbahnen erfolgte sowohl konventionell im q-v-Diagramm als auch unter Verwendung stochastischer Ansätze. Für die Gegenüberstellung deterministischer und stochastischer Kapazitätswerte wurden geeignete Perzentilwerte der Verteilungsfunktion der Kapazität verwendet.

Neben der Auswertung der Daten von Dauerzählstellen wurden an mehreren Standorten im Zuge des achtstreifigen Abschnitts der Autobahn A 5 zwischen Frankfurt/Main und Darmstadt Messungen durchgeführt. Mittels Videotechnik wurde der Verkehrsablauf im Bereich der freien Strecke, an einer Anschlussstelle sowie in der Zufahrt eines großen Autobahnknotenpunkts aufgezeichnet. Die Messung im Bereich der freien Strecke diente in erster Linie zur Analyse des Geschwindigkeits-, Abstands- und Fahrstreifenwechselverhaltens der Verkehrsteilnehmer. Anhand der Geschwindigkeiten und Zeitlücken der Einzelfahrzeuge erfolgte eine Modellierung der Zeitlückenverteilung sowie eine Beurteilung des aus dem Ab-

standsverhalten resultierenden Gefahrenpotenzials. Darüber hinaus wurden mit einem neuartigen statistischen Verfahren Verteilungsfunktionen der Wunschgeschwindigkeit ermittelt. Anhand der Messungen an Knotenpunkten wurden die Fahrstreifenaufteilung und das Fahrstreifenwechselverhalten ein- und ausfahrender Verkehrsteilnehmer ausgewertet. Die Analyse der Ausfahrstrategien erfolgte vor allem im Hinblick auf mögliche Probleme im Zusammenhang mit der Wegweisung auf vierstreifigen Richtungsfahrbahnen.

Die empirische Analyse des Verkehrsablaufs wurde durch mikroskopische Simulationen mit dem Programm BABSIM ergänzt, um Erkenntnisse zum Verkehrsablauf auf Steigungsstrecken sowie Strecken mit hohem Schwerverkehrsanteil zu gewinnen. Mangels entsprechender Abschnitte mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen in Deutschland konnten für diese Streckenparameter keine empirischen Untersuchungen durchgeführt werden.

Die Beurteilung der Verkehrssicherheit und des Störungsgehehens auf Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen erfolgte am Beispiel der Autobahn A 5 zwischen Westkreuz Frankfurt/Main und Autobahnkreuz Darmstadt. Von dieser Strecke lagen Unfalldaten und Störungsmeldungen für einen Zeitraum von drei Jahren vor. Für die Unfallanalyse wurde die Untersuchungsstrecke in drei Teilabschnitte mit unterschiedlichen Streckencharakteristika eingeteilt. Die ermittelten Unfalldichten und -raten sowie die Verteilungen der Unfallmerkmale wurden mit den entsprechenden Werten für das Gesamtnetz der Bundesautobahnen verglichen. Darüber hinaus wurden Unfallhäufungen vor allem im Hinblick auf das Unfallgeschehen bei Nässe analysiert.

Zur Erhebung des Sicherheitsempfindens und der Erfahrungen der Verkehrsteilnehmer im Zusammenhang mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen wurde eine Befragung durchgeführt. An der Tank- und Rastanlage Gräfenhausen im Zuge der Autobahn A 5 wurden jeweils 50 Interviews mit Pkw- und Lkw-Fahrern durchgeführt. Um darüber hinaus auch den Pendler- und Kurzstreckenverkehr zu erfassen, wurden Fragebögen an Bewohner der in unmittelbarer Nähe des achtstreifigen Abschnitts der Autobahn A 5 gelegenen Stadt Mörfelden-Walldorf verteilt. Die Fragen zielten auf das allgemeine Sicherheitsempfinden, auf Erfahrungen und Beobachtungen zum Verkehrsablauf sowie auf das persönliche Fahrverhalten.

Im Rahmen der entwurfstechnischen Analyse wurden die Entwurfsmerkmale von insgesamt drei vorhandenen und geplanten Autobahnabschnitten mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen in Deutschland analysiert. Darauf aufbauend erfolgte eine Beurteilung der Abmessungen des im Entwurf der Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA) vorgeschlagenen Regelquerschnitts RQ 43,5. Für die Analyse der besonderen Anforderungen an die Entwässerung breiter Fahrbahnen wurden für den Regelquerschnitt RQ 43,5 anhand von Modellrechnungen kritische Wasserfilmdicken und Aquaplaninggeschwindigkeiten für verschiedene Regenhäufigkeiten, Fahrbahnbeläge und Straßenflächegeometrien ermittelt.

3. Untersuchungsergebnisse

Die Erhebung vorhandener Kenntnisse und Erfahrungen zu Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen konzentrierte sich auf Deutschland, die Niederlande und die USA. Für andere Länder konnten nur vereinzelte Informationen gewonnen werden. Die Literaturrecherche ergab nur wenige Quellen mit spezifischen Angaben zu Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen. Umfangreiche Erkenntnisse konnten dagegen anhand der Dokumentation bestehender Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen sowie im Rahmen von Expertengesprächen mit Vertretern von Straßenbauverwaltungen im In- und Ausland

gewonnen werden. So ergaben die Befragungen von Experten aus der Praxis, dass auf einen vollwertigen Standstreifen auf der linken Seite vierstreifiger Richtungsfahrbahnen in aller Regel verzichtet werden kann. Abgesehen von den USA, wo der Verkehrsablauf auf Autobahnen durch relativ geringe Geschwindigkeiten gekennzeichnet ist, werden Verkehrsbeeinflussungsanlagen für den sicheren Betrieb hoch belasteter Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen für wichtig gehalten. Im Hinblick auf einen reibungslosen Verkehrsablauf ist vor allem das Zusammenspiel zwischen Strecke und Knotenpunkten zu beachten. In diesem Zusammenhang wird insbesondere der Wegweisung eine hohe Bedeutung beigemessen.

Auf der Grundlage der Daten von Dauerzählstellen konnten vor allem für die achtstreifigen Abschnitte der Autobahnen A 3 und A 5 im Raum Frankfurt/Main umfangreiche Erkenntnisse zum Verkehrsablauf gewonnen werden. Die Analyse der Gestalt des q-v-Diagramms ergab insbesondere bei hohen Verkehrsstärken ein relativ hohes Geschwindigkeitsniveau. Hinsichtlich der Fahrstreifenaufteilung zeigten sich erhebliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Nähe der betrachteten Querschnitte zu Knotenpunkten. Auf der freien Strecke außerhalb der Knotenpunkte werden bei hohen Verkehrsstärken Anteile von bis zu 40 % auf dem linken Fahrstreifen erreicht, der rechte Fahrstreifen ist dagegen nur mit 10 bis 15 % der Verkehrsstärke des Gesamtquerschnitts belastet. In der Nähe von Knotenpunkten stellt sich dagegen eine wesentlich ausgeglichene Verteilung des Verkehrs auf die vier Fahrstreifen ein. Mit der Anpassung von Verkehrsflussmodellen im q-v-Diagramm wurden auf der Grundlage von Stunden-Intervallen für die analysierten vierstreifigen Querschnitte Kapazitäten von bis zu 8.600 Kfz/h ermittelt. Mit den Verfahren der stochastischen Kapazitätsanalyse wurden charakteristische Verteilungsfunktionen der Kapazität in 5-Minuten-Intervallen mit einem Medianwert von 9.100 Kfz/h für Strecken innerhalb von Ballungsräumen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung sowie 9.500 Kfz/h für Abschnitte mit Verkehrsbeeinflussungsanlage hergeleitet. Der konventionelle Kapazitätswert in Stunden-Intervallen entspricht ungefähr dem ersten Perzentil der Kapazitätsverteilung in 5-Minuten-Intervallen.

Die Auswertung der Videomessung im Bereich der freien Strecke ergab vor allem bei hohen Verkehrsstärken einen erheblichen Anteil sehr geringer Zeitlücken. In 5-Minuten-Intervallen waren bis zu 45 % der gemessenen Fahrzeugabstände als riskant einzustufen. Gleichzeitig wurden auch bei hohen Verkehrsstärken noch mittlere Pkw-Geschwindigkeiten zwischen 120 und 140 km/h gemessen. Die anhand der statistischen Analyse der Zeitlücken und Geschwindigkeiten ermittelte Verteilungsfunktion der Wunschgeschwindigkeit der Pkw weist dementsprechend mit rund 160 km/h einen sehr hohen Mittelwert auf.

Die Analyse des Fahrstreifenwechselverhaltens an Anschlussstellen und Autobahnknotenpunkten ergab, dass sich der überwiegende Teil der ausfahrenden Verkehrsteilnehmer bereits frühzeitig auf dem rechten Fahrstreifen einordnet. Es konnten demnach keine Defizite hinsichtlich der Rechtzeitigkeit der wegweisenden Beschilderung festgestellt werden. Durch die frühzeitige Durchführung der zum Erreichen des Zielfahrstreifens erforderlichen Fahrstreifenwechsel ist an zweistreifigen Ausfahrten mit Fahrstreifenabstraktion der rechte Fahrstreifen vor dem Beginn des Sortierbereichs am stärksten belastet.

Anhand der Ergebnisse der empirischen Analyse des Verkehrsablaufs auf vierstreifigen Richtungsfahrbahnen wurde das mikroskopische Simulationsprogramm BABSIM kalibriert. Dabei konnte eine gute Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit empirischen Daten erreicht werden. Die Simulation des Verkehrsablaufs auf Steigungsstrecken ergab insbesondere für vierstreifige Abschnitte mit einem hohen Geschwindigkeitsniveau

einen deutlichen Einfluss der Längsneigung auf das q-v-Diagramm. Der ermittelte Einfluss des Schwerverkehrsanteils auf die mittleren Pkw-Geschwindigkeiten ist dagegen gering.

Die Unfallanalyse ergab für den hoch belasteten Untersuchungsabschnitt der Autobahn A 5 höhere Unfalldichten, aber deutlich geringere Unfallraten im Vergleich zum Gesamtnetz der Bundesautobahnen. Unfälle mit schwerem Personenschaden treten innerhalb der Untersuchungsstrecke in erster Linie auf den mit hohen Geschwindigkeiten befahrenen Abschnitten außerhalb der Knotenpunkte auf. Dennoch ist der Verkehrsablauf auch auf diesen Abschnitten als relativ sicher einzustufen. Das Unfallgeschehen bei Nässe zeigt keine Auffälligkeiten.

Die Verkehrsteilnehmerbefragung zur Sicherheit und zum Verkehrsablauf auf vierstreifigen Richtungsfahrbahnen ergab ein sehr positives Meinungsbild. Der überwiegende Teil der Verkehrsteilnehmer beurteilt die Sicherheit achtstreifiger Autobahnen auch im Vergleich zu vier- und sechsstreifigen Autobahnen außerordentlich positiv. Der Verkehrsablauf auf solchen Strecken wird als weitgehend unproblematisch empfunden. Nur einzelne Fahrer, vor allem solche mit geringer Routine beim Befahren vierstreifiger Richtungsfahrbahnen, fühlen sich unsicher.

Hinsichtlich der Querschnittsgestaltung von Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen ergab die entwurfstechnische Analyse keine Erkenntnisse, die einer Anwendung des im Entwurf der Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA) enthaltenen Regelquerschnitts RQ 43,5 entgegen stehen. Unter entwurfstechnischen Gesichtspunkten ist die Straßenflächenentwässerung bei breiten Fahrbahnquerschnitten von besonderer Bedeutung. Die Entwässerungsberechnungen für den Regelquerschnitt RQ 43,5 ergaben nicht nur für Verwindungsbereiche, sondern teilweise auch für Bereiche mit konstanter Querneigung mit $q = 2,5 \%$ Aquaplaninggeschwindigkeiten unter der auf Autobahnen geltenden Richtgeschwindigkeit von 130 km/h. Diese Problematik betrifft in abgeschwächter Form allerdings auch dreistreifige Fahrbahnquerschnitte. Geringere Wasserfilmdicken können mit einer Erhöhung der Querneigung auf $q = 3 \%$ erreicht werden. Diese Maßnahme wird für Geraden und Kreisbogen empfohlen, die zum Mittelstreifen entwässern.

4. Folgerungen für die Praxis

Mit der vorliegenden Untersuchung wurde erstmals eine umfassende Grundlage für den Entwurf und die Bemessung von Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen in der Praxis erarbeitet. Für die wesentlichen Fragestellungen im Zusammenhang mit dem Verkehrsablauf, der Verkehrssicherheit, der Entwurfstechnik und dem Straßenbetrieb wird ein belastbarer Stand des Wissens für deutsche Verhältnisse dargestellt. Offene Fragen betreffen allenfalls solche Aspekte, die wegen des begrenzten Umfangs vorhandener Autobahnabschnitte mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen in Deutschland einer empirischen Analyse derzeit (noch) nicht zugänglich sind.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurden konkrete Empfehlungen für die verkehrstechnische Bemessung, den Entwurf und den Betrieb von Autobahnen mit vierstreifigen Richtungsfahrbahnen abgeleitet. Für die Ergänzung des im Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) angegebenen Bemessungsverfahrens für Autobahnabschnitte außerhalb der Knotenpunkte wurden Kapazitätswerte und q-v-Diagramme für vierstreifige Fahrbahnen entwickelt.

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass vierstreifige Richtungsfahrbahnen eine leistungsfähige und sichere Ausbaumform von Autobahnen darstellen. Gravierende Probleme ergeben sich aus der Breite der Fahrbahn nicht. Dennoch sind

insbesondere hinsichtlich der Straßenflächenentwässerung und der Wegweisung im Bereich komplexer Knotenpunkte spezifische Anforderungen zu beachten, um einen sicheren Verkehrsablauf zu gewährleisten. Unter den Gesichtspunkten des Verkehrsablaufs, der Verkehrssicherheit und des Straßenbetriebs ist die Ausstattung vierstreifiger Richtungsfahrbahnen mit Verkehrsbeeinflussungsanlagen generell zu empfehlen.