

## Verkehrsablauf an Autobahnausfahrten des Typs A 2 der RAL-K-2

FA 2.241

Forschungsstelle: Universität Hannover, Institut für Verkehrswirtschaft, Straßenwesen und Städtebau (Prof. Dr.-Ing. B. Friedrich)

Bearbeiter: Irzik, M. / Hoffmann, S.

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

Abschluss: Januar 2006

### 1. Aufgabenstellung

Die Steigerung des Verkehrsaufkommens auf den Bundesautobahnen hat in den vergangenen Jahren zu häufigen Überlastungen geführt. Besondere Kapazitätsprobleme bestehen im Bereich von Knotenpunkten. Wenn eine einstreifige Ausfahrt des Typs A 1 nicht mehr ausreicht, kommt nach den Richtlinien eine Ausfahrt des Typs A 2 mit einer zweistreifigen Rampe in Betracht. Beim Ausfahrtstyp A 2 wird nur der rechte Fahrstreifen mit einem Ausfädelungsstreifen aus der Hauptfahrbahn herausgeführt, und der linke Fahrstreifen wird unmittelbar spitzwinklig vom rechten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn entwickelt. Dieser Ausfahrtstyp erreicht seine Kapazität nur bei annähernd gleicher Fahrstreifenauslastung in der Ausfahrt. Zurückliegende Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass aufgrund einer ungleichen Auslastung die in den aktuellen Richtlinien und Entwurfshinweisen angegebene Kapazität oftmals nicht erreicht wird und es somit auch zu Problemen im Verkehrsablauf auf der Hauptfahrbahn oberhalb der Ausfahrt kommt. Das Ziel des vorliegenden Forschungsprojekts bestand daher in der Entwicklung von geeigneten Kombinationen entwurfstechnischer und betrieblicher Maßnahmen, mit denen die Qualität des Verkehrsablaufs in zweistreifigen Ausfahrten vom Typ A 2 verbessert werden kann und Qualitätseinbußen bei hohen Verkehrsstärken durch ungleichmäßige Fahrstreifenbelegungen vermieden werden können.

### 2. Untersuchungsmethodik

Die aus der Literatur gewonnenen Erkenntnisse wurden dazu genutzt, Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen zu entwickeln, die prinzipiell eine Verbesserung der Qualität des Verkehrsablaufs und eine Erhöhung der Kapazität in Ausfahrten vom Typ A 2 erwarten lassen. Im Einzelnen wurden die folgenden Maßnahmen betrachtet:

- Maßnahme M 0: Standard nach den RMS-2 und RWBA,
- Maßnahme M 1: Markierung von Richtungspfeilen auf dem Hauptfahrstreifen und dem Ausfädelungsstreifen im Bereich der Ausfahrt,
- Maßnahme M 3: Modifizierung der wegweisenden Beschilderung durch Anzeige eines Kombipfeils über dem rechten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn,
- Maßnahme M 4: Hinweistafeln im Seitenraum zur Verdeutlichung der zweistreifigen Ausfahrt.

Neben den vorab beschriebenen Maßnahmen wurden zusätzlich die Maßnahmenkombinationen M 3 + M 1, M 1 + M 4 sowie M 3 + M 1 + M 4 untersucht.

Die empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf wurden als Mit-/Ohne- bzw. Vorher-/Nachher-Messungen an acht Ausfahrten durchgeführt. Die Ohne-Messungen, d. h. die Messungen an den fünf Ausfahrten des Typs A 2 mit Standard-Beschilderung nach den RWBA sowie Entwurf und Markierung nach den RAL-K-2 und RMS, dienten zur Bestimmung der

Qualität des Verkehrsablaufs und der Kapazität des Ausfahrtstyps A 2. Die Mit-Messungen, d. h. die Messungen an Ausfahrten des Typs A 2 mit zusätzlichen entwurfstechnischen und/oder betrieblichen Maßnahmen sollten dazu dienen, die möglichen Veränderungen hinsichtlich der Qualität des Verkehrsablaufs und der Kapazität zu ermitteln. Im Gegensatz zu den Ohne-Messungen wurden bei den Vorher-Messungen drei Ausfahrten betrachtet, die entgegen den Vorgaben der Regelwerke bereits mit einer oder mit mehreren Maßnahmen ausgestattet sind. Für die Nachher-Messungen wurden diese Ausfahrten dann weiter umgestaltet bzw. weitere Maßnahmen wurden eingerichtet.

Bei der Auswahl der Untersuchungsstellen galt es eine Reihe von Randbedingungen zu beachten. Neben Aspekten, die aus der gewählten Methodik und der Datenerhebung resultierten, sollten Einflüsse aus der sich an die Ausfahrt anschließenden Rampe möglichst ausgeschlossen werden. Dies betraf z. B. Ausfahrten mit sehr kleinen Rampenradien oder solche, bei denen im Anschluss an die zweistreifige Ausfahrt die zweistreifige Verbindungsrampe wieder auf einen Fahrstreifen eingezogen wird. Ebenfalls durfte sich kein plangleicher Knotenpunkt im Anschluss an die Ausfahrtsrampe befinden.

Um eine ausreichende Datenbasis zu schaffen, wurde der Verkehrsablauf in den ausgewählten Ausfahrten über einen längeren Zeitraum während der Hauptverkehrszeiten erfasst. Dabei wurden die Verkehrsstärken, die Geschwindigkeiten sowie die Verkehrszusammensetzung in zeitlich konstanten Intervallen fahrstreifenbezogen ermittelt.

Die Auswertungen zum Verkehrsablauf erfolgten zum einen mittels statistischer Kenngrößen. Zum anderen wurden Korrelations- und Regressionsanalysen durchgeführt. Neben den Kenngrößen des Verkehrsablaufs (Verkehrsstärke und Geschwindigkeit) wurde auch die Fahrstreifenbelegung in der Ausfahrt auf Höhe der Trenninselspitze betrachtet. Vergangene Untersuchungen zeigten einen entscheidenden Einfluss der Fahrstreifenbelegung auf die Qualität des Verkehrsablaufs und somit die Kapazität.

Um auch die Verkehrssicherheit im Bereich der Ausfahrten beurteilen zu können, erfolgte sowohl eine makroskopische als auch eine mikroskopische Unfallanalyse. Grundlage hierfür bildeten die polizeilichen Verkehrsunfallanzeigen. Zusätzlich wurden Videoaufnahmen von ausgewählten Ausfahrbereichen angefertigt, um für die Verkehrssituationsanalyse die erforderlichen Grundlagendaten zu schaffen. Im Rahmen der Verkehrssituationsanalyse wurde in ausgewählten Ausfahrten die Lage der Fahrstreifenwechsellpunkte sowie das Verhalten beim Fahrstreifenwechsel erfasst und analysiert.

Aus den Ergebnissen der empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf und zur Verkehrssicherheit wurden Empfehlungen für die Fortschreibung der betroffenen Richtlinien der FGSV abgeleitet. Ein umfangreicher Anhang mit einer Dokumentation der Untersuchungsstellen sowie Ergänzungen zu den im Textteil dargestellten Ergebnissen der empirischen Untersuchungen schließen den Bericht ab.

### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Verkehrsablauf und Kapazität

Die Auswertungen der empirischen Untersuchungen haben gezeigt, dass nur in wenigen Ausfahrten Verkehrsstärken von mehr als 200 Kfz/5 min beobachtet werden konnten.

Aus vorangegangenen Arbeiten lässt sich ableiten, dass ab diesen Verkehrsstärken mit einem deutlichen Rückgang der Geschwindigkeiten sowie vermehrten Zusammenbrüchen im Verkehrsablauf zu rechnen ist. Aufgrund der hier untersuchten geringeren Verkehrsstärken wurden in den betrachteten zweistreifigen Ausfahrten vom Typ A 2 nur äußerst selten Zusammenbrüche im Verkehrsablauf beobachtet.

Die Zusammenbrüche traten jedoch teilweise schon bei mittleren Verkehrsstärken von ca. 150 Kfz/5 min auf. Bei diesen Verkehrsstärken war in den betroffenen Ausfahrten eine sehr ungleichmäßige Auslastung der beiden Fahrstreifen in der Ausfahrt zu beobachten, so dass hier eine mögliche Ursache für die Zusammenbrüche zu finden ist.

Aufgrund der wenigen beobachteten Zusammenbrüche des Verkehrsablaufs konnte die Kapazität für den zweistreifigen Ausfahrtstyp A 2 nur bedingt bestimmt bzw. abgeschätzt werden. Dies gilt sowohl für die Ausfahrten mit richtlinienkonformer Ausbildung als auch für die Ausfahrten mit zusätzlichen Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen. Eine Angabe von Qualitätsstufen für das HBS ist somit ebenfalls nicht möglich, da der Auslastungsgrad das Maß für die Qualität des Verkehrsablaufs darstellt.

Auf der Grundlage der Verkehrsstärke-Geschwindigkeits-Beziehungen lassen sich jedoch Aussagen zu einem minimalen Wert für die Kapazität treffen. Unter Berücksichtigung eines Instationaritätsfaktors von 1,2 kann auf Basis der betrachteten 5-Minuten-Intervalle davon ausgegangen werden, dass bis zu einer Verkehrsstärke von ca. 2 200 bis 2 300 Kfz/h ein stabiler Verkehrsablauf mit Geschwindigkeiten von über 80 km/h zu erwarten ist. Bei diesen Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten konnte noch eine befriedigende Qualität des Verkehrsablaufs beobachtet werden. In Analogie zum HBS entspricht dies der Qualitätsstufe C. Diese Werte treffen jedoch nur auf die Ausfahrten zu, in denen bereits ohne zusätzliche Maßnahmen eine relativ ausgeglichene Fahrstreifenbelegung vorhanden ist.

In den Ausfahrten, in denen die Fahrstreifenbelegung auch bei höheren Verkehrsstärken deutlich ungleichmäßig ist, waren dagegen bereits ab einer Verkehrsstärke von ca. 1 600 Kfz/h teilweise Geschwindigkeiten von unter 80 km/h zu beobachten.

Für die verschiedenen untersuchten Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen konnten keine negativen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf beobachtet werden. Die Verkehrsstärke-Geschwindigkeitsbeziehungen für die Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die Beziehungen für die Ausfahrten ohne Maßnahmen. Für einzelne Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen konnten jedoch eine Erhöhung des Geschwindigkeitsniveaus sowie eine Harmonisierung des Verkehrsablaufs beobachtet werden. Dies zeigte sich durch eine geringere Streuung der Geschwindigkeiten.

Durch den positiven Einfluss der umgesetzten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen v. a. auf die gleichmäßige Auslastung der beiden Ausfädelungstreifen wurde die im HBS angegebene Kapazität von 2 550 Kfz/h teilweise deutlich überschritten, ohne dass es zu Zusammenbrüchen im Verkehrsablauf kam, lediglich im Dreieck Schwanebeck kam es vereinzelt zu solchen Zusammenbrüchen. Inwieweit diese aber auf Kapazitätsprobleme im Bereich der Ausfahrt zurückzuführen sind, konnte im Rahmen der Untersuchungen nicht abschließend geklärt werden. Aller Wahrscheinlichkeit nach sind Probleme im Anschluss an die Ausfahrt (Zusammenführung der BAB A 10 und BAB A 11 im weiteren Verlauf der Hauptfahrbahn) Ursache für die Verkehrszusammenbrüche.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Kapazität der Ausfahrten mit den angeordneten Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen höher ist als in den Ausfahrten ohne Maß-

nahmen. Ein Wert für die Kapazität der einzelnen Maßnahmen kann aus den durchgeführten empirischen Untersuchungen jedoch nicht abgeleitet werden.

### 3.2 Fahrstreifenbelegungen

Die Ergebnisse der empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf bzgl. der Kapazität zeigen deutlich, dass die Fahrstreifenbelegung im Bereich der Ausfahrt einen großen Einfluss auf die Kapazität bzw. die Verkehrsstärke-Geschwindigkeits-Beziehungen in den Ausfahrten hat.

Durch die Umgestaltung von richtlinienkonformen Ausfahrten konnten vereinzelt deutliche, im allgemeinen jedoch nur leichte Verbesserungen durch die verschiedenen Maßnahmen im Hinblick auf eine ausgeglichene Auslastung der beiden Fahrstreifen in der Ausfahrt ermittelt werden. Die Hauptursache für die geringen Auswirkungen ist dabei jedoch vermutlich weniger in den Maßnahmen selbst, als vielmehr darin zu finden, dass an einigen der untersuchten Ausfahrten bereits ohne zusätzliche Maßnahmen eine relativ ausgeglichene Fahrstreifenbelegung beobachtet wurde. Um die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen bzw. Maßnahmenkombinationen beurteilen zu können, war es daher erforderlich, Ausfahrten für einen Mit-/Ohne-Vergleich zusammenzufassen, bei denen die Fahrstreifenbelegungen ohne Maßnahme einen ähnlichen Verlauf aufweisen. Zwei Gruppen waren demnach zu unterscheiden: In der Gruppe A wurden die Untersuchungsstellen zusammengefasst, bei denen ohne Maßnahme eine ungleichmäßige Auslastung der beiden Ausfädelungstreifen vorlag. Gruppe B schließt die Untersuchungsstellen ohne Maßnahme ein, bei denen eine vergleichsweise gleichmäßige Auslastung der beiden Ausfädelungstreifen beobachtet wurde.

Durch die Markierung von Richtungspfeilen im Bereich der Ausfahrt (Maßnahme M 1) konnten sowohl für die betrachteten Ausfahrten der Gruppe A und teilweise auch der Gruppe B ein positiver Einfluss bzgl. der Angleichung der Fahrstreifenbelegungen im Bereich der zweistreifigen Ausfahrt ermittelt werden. Die geringe Wirksamkeit der Pfeilmarkierungen im AK Ratingen-Ost (Gruppe B) kann darauf zurückgeführt werden, dass die Markierung im Kuppenbereich eventuell schlechter zu erkennen war als in den anderen Untersuchungsstellen.

Eine positive Wirkung auf die Fahrstreifenbelegungen konnte durch den Kombipfeil in der wegweisenden Beschilderung (Maßnahme M 3) im direkten Vergleich mit dem Zustand ohne Maßnahme nicht nachgewiesen werden. Dennoch wird auch dieser Maßnahme eine gewisse positive Wirkung zugesprochen. Dies begründet sich aus den ergänzenden Betrachtungen, die an der AS Hannover-Lahe durchgeführt wurde. Der vorhandene Kombipfeil in der wegweisenden Beschilderung über dem rechten Fahrstreifen der Hauptfahrbahn führt hier zu einer relativ ausgeglichenen Auslastung der beiden Ausfädelungstreifen.

Für die Kombination der Maßnahmen M 3 + M 1 konnte anhand des Mit-/Ohne-Vergleichs gezeigt werden, dass sich keine positiven Wirkungen im Hinblick auf die Fahrstreifenbelegung ergaben. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in Analogie zur Maßnahme M 3 dieser Vergleich lediglich für die Gruppe B durchgeführt werden konnte. Bei der Gruppe B lag bereits bei der Ohne-Messung eine sehr ausgeglichene Auslastung der beiden Fahrstreifen in der Ausfahrt vor. Die Ergebnisse zum Dreieck Nuthetal deuten jedoch auch für diese Maßnahmenkombination auf einen durchaus positiven Effekt hin. Bei den dort sehr gleichmäßigen Fahrstreifenbelegungen konnten Verkehrsstärken von knapp über 3 000 Kfz/h beobachtet werden, ohne dass es dabei zu Problemen im Verkehrsablauf kam.

Durch die Anordnung von Hinweistafeln im Seitenraum (Maßnahme M 4) konnte lediglich eine leichte Verbesserung in der

Fahrstreifenbelegung ermittelt werden, so dass der Nutzen der Maßnahme M 4 geringer eingeschätzt wird als der Nutzen der Maßnahmen M 1 und M 3. Dieses Ergebnis wird auch durch die Vorher-/Nachher-Untersuchung im Dreieck Nuthetal für die Maßnahmenkombinationen M 3 + M 1 bzw. M 3 + M 1 + M 4 unterstützt.

### 3.3 Verkehrssicherheit

Die berechneten Unfallkenngrößen der betrachteten Ausfahrten zeigen teilweise große Streuungen und lassen keine eindeutigen Aussagen zu. Dennoch kann der Verkehrsablauf in den Ausfahrten vom Typ A 2 als sicher eingestuft werden, da die berechneten Unfallkenngrößen in der überwiegenden Anzahl der Ausfahrten niedrig und insgesamt Unfälle mit schwerem Personenschaden nur sehr selten aufgetreten sind.

Die ermittelten makroskopischen Unfallkenngrößen können aufgrund des gewählten betrachteten Bereichs für die Auswertung nur bedingt mit anderen Ausfahrtstypen verglichen werden. Im Verhältnis zu den Unfallkennziffern für die Ausfahrtstypen A 4 und A 5 sowie A 3 (mit anschließender Fahrstreifenreduktion in der Hauptfahrbahn) liegen die berechneten mittleren Unfallkennziffern für den Ausfahrtstyp A 2 (Standard nach den RMS und den RWBA) etwas über den Werten für die Typen A 4 und A 5, jedoch deutlich unter den Werten des Typs A 3. Aufgrund der insgesamt geringen Anzahl von Unfällen mit schwerem Personenschaden sind abgesicherte bewertete Aussagen nicht möglich.

Die vergleichenden Betrachtungen in den Ausfahrten ohne Maßnahmen (M 0) sowie in den Ausfahrten mit bereits vorhandenen Maßnahmen und Maßnahmenkombinationen (M 3, M 3 + M 1, M 1 + M 4) zeigen, dass durch die angeordneten Maßnahmen keine Verschlechterung der Verkehrssicherheit eingetreten ist. Die Unterschiede im Unfallgeschehen resultieren aus örtlichen Besonderheiten. Ein Einfluss der verschiedenen Maßnahmen auf die Verkehrssicherheit bzw. das Unfallgeschehen kann nicht eindeutig abgeleitet werden.

Die Analyse der Lage der Fahrstreifenwechsellpunkte sowie der Interaktionen beim Fahrstreifenwechsel hat im Hinblick auf die Verkehrssicherheit zu keinen relevanten Erkenntnissen geführt. Die Ergebnisse der Verkehrssituationsanalyse zeigen, dass nahezu alle betrachteten Fahrstreifenwechsellvorgänge (unabhängig von ihrer Lage) ohne Konflikte ablaufen.

Die Ergebnisse der empirischen Untersuchungen zur Verkehrssicherheit beeinflussen daher die folgenden Empfehlungen nicht.

## 4. Folgerungen für die Praxis

Im Folgenden werden die Hinweise für das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) sowie die Empfehlungen Entwurfsrichtlinien (RAA, RWBA und RMS) differenziert beschrieben.

### 4.1 Hinweise für das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS)

Um die im HBS angegebenen Kapazitäten für den Ausfahrtstyp A 2 zu erreichen, ist eine ausgeglichene Fahrstreifenbelegung in beiden Fahrstreifen der Ausfahrt Voraussetzung. Eine ausgeglichene Fahrstreifenbelegung kann aufgrund der dargestellten Untersuchungsergebnisse ohne zusätzliche Maßnahmen aber nicht grundsätzlich erreicht werden, so dass auch die im HBS angegebene Kapazität nicht als allgemeingültig für den Ausfahrtstyp A 2 gelten kann.

Wird die Fahrstreifenbelegung durch die Anordnung zusätzlicher Maßnahmen oder auch Maßnahmenkombinationen einander angeglichen, ist für den Ausfahrtstyp A 2 eine höhere Kapazität zu erreichen als bisher im HBS angegeben.

Aufgrund der wenigen beobachteten Verkehrszusammenbrüche kann ein Wert für die Kapazität nicht eindeutig bestimmt werden. In Ausfahrten mit annähernd gleichen Fahrstreifenbelegungen bei hohen Verkehrsstärken konnte bei Verkehrsstärken von über 2 550 Kfz/h ein noch befriedigender Verkehrsablauf beobachtet werden. In Ausfahrten mit deutlich ungleichmäßigen Auslastungen des rechten und linken Fahrstreifens kam es dagegen bereits ab Verkehrsstärken von ca. 1 600–1 700 Kfz/h vereinzelt zu einer Verschlechterung in der Qualität des Verkehrsablaufs.

### 4.2 Empfehlungen für die Entwurfsregelwerke (Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA), Richtlinien für die wegweisende Beschilderung an Autobahnen (RWBA) und Richtlinien für die Markierung (RMS))

Aufgrund der Ergebnisse der empirischen Untersuchungen zum Verkehrsablauf sollte der Ausfahrtstyp künftig in den RAA nur noch mit zusätzlichen Maßnahmen Anwendung finden. Vor allem die Pfeilmarkierung auf der Fahrbahn (Maßnahme M 1) hat eine positive Wirkung auf die Qualität des Verkehrsablaufs und die Fahrstreifenbelegung gezeigt.

In den RMS sollte die Regelmarkierung für die zweistreifige Ausfahrt vom Typ A 2 mit den Pfeilmarkierungen ergänzt werden. Für eine richtlinienkonforme Ausfahrt mit einer Länge von 250 m wird die Markierung von zwei Pfeilen in der Hauptfahrbahn sowie dem Ausfädelungsfahrstreifen vorgeschlagen. In längeren Ausfahrbereichen wäre die Anzahl der Pfeilmarkierungen ggf. anzupassen. Empfohlen wird ein Abstand zwischen den Pfeilmarkierungen von 150 m. Größere Abstände von über 250 m sollten vermieden werden. Die Pfeilmarkierungen lassen sich sowohl beim Neubau als auch beim Um- oder Ausbau relativ einfach und kostengünstig in Ausfahrten vom Typ A 2 aufbringen.

Neben der Pfeilmarkierung auf der Fahrbahn zeigte auch der Kombipfeil in der wegweisenden Beschilderung (Maßnahme M 3) sowie die Kombination der Maßnahmen M 3 und M 1 eine positive Wirkung auf die Qualität des Verkehrsablaufs und die Fahrstreifenbelegung. Die empirischen Untersuchungen zu dieser Maßnahme bzw. Maßnahmenkombination haben gezeigt, dass die Qualität des Verkehrsablaufs auch bei hohen bis sehr hohen Verkehrsstärken auf einem guten Niveau zu halten ist.

Zusätzlich zur Pfeilmarkierung auf der Fahrbahn (Maßnahme M 1) sollten daher für den Neubau von Ausfahrten vom Typ A 2 in den RWBA die Regelpläne für die Beschilderung von zweistreifigen Ausfahrten mit dem Kombipfeil aufgenommen werden. Der Kombipfeil in der wegweisenden Beschilderung sollte dabei als "mittellanger Pfeil" ausgeführt werden. Die Schilderfläche soll geschlossen über alle Fahrstreifen der Hauptfahrbahn und den Ausfädelungstreifen ausgebildet werden.

Die Einrichtung der Maßnahme M 4 wird nicht empfohlen. Zum einen spricht die geringe Wirksamkeit dieser Maßnahme gegen eine solche Empfehlung, zum anderen handelt es sich bei den Hinweistafeln im Seitenraum um ein zusätzliches Ausstattungsmerkmal. Die beiden empfohlenen Maßnahmen M 1 und M 3 können hingegen in die Ausstattung und Markierung bestehender Ausfahrten vom Typ A 2 integriert werden. □