

## Verkehrsablauf an Fahrstreifenreduktionen

FA 2.196

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

Bearbeiter: Engelmann, F.

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

Abschluss: Februar 2003

### 1. Aufgabenstellung

Im Mittelpunkt dieser Arbeit standen Fahrstreifenreduktionen auf Bundesautobahnen von drei auf zwei Fahrstreifen ohne Baustelle. Die große Anzahl von Fahrstreifenwechseln in diesem Bereich mit einer Vielzahl von Brems- und Beschleunigungsmanövern deutet auf eine Verringerung der Kapazität noch unterhalb der von durchgängig zweistreifig ausgebauten Fahrbahnen sowie auf einen Anstieg der Unfalldichte hin. In diesem Fall stellen Fahrstreifenreduktionen sowohl aus Gründen der geringen Kapazität als auch in Bezug auf die Verkehrssicherheit Problembereiche im Straßennetz dar.

In der Fachliteratur sind wenig Untersuchungen zur Problematik von Fahrstreifenreduktionen zu finden, weshalb sich für dieses Entwurfs-element großer Forschungsbedarf ableitet. Angaben zur Kapazität von Autobahnabschnitten mit Fahrstreifenreduktion ohne Baustelle werden in der Literatur nicht gemacht. Es lässt sich vermuten, dass die Kapazität dieser Abschnitte etwas unter der von durchgängig zweistreifigen Streckenabschnitten liegt, da durch die Einfädungsvorgänge vor der Fahrstreifenreduktion Kapazitätseinbußen entstehen. Jedoch spricht auch vieles dafür, dass sie eine höhere Kapazität als eine Fahrstreifenreduktion infolge einer Baustelle haben, da durch das Herabsetzen der zulässigen Höchstgeschwindigkeit im Baustellenbereich, durch die Verringerung der Fahrstreifenbreite und durch andere Beeinträchtigungen in Folge straßenbegleitender Bautätigkeiten zusätzliche Einbußen bei der Kapazität entstehen.

Ziel dieses Forschungsvorhabens war es, die Kapazität und die Verkehrssicherheit an Autobahnabschnitten mit einer Fahrstreifenreduktion zu analysieren und zu quantifizieren, um verallgemeinernde Aussagen über das Entwurfs-element "Fahrstreifenreduktion" treffen zu können. Vor allem die Einflüsse der Fahrzeugzusammensetzung und der Streckencharakteristik wurden dabei eingehend untersucht. Als Ergebnis der Forschungsarbeit wurde ein standardisiertes Verfahren mit Bemessungsdiagrammen entwickelt, das es ermöglicht, die Auswirkungen von Fahrstreifenreduktionen auf den Verkehrsablauf im Vorfeld abzuschätzen. Dieses Verfahren ist so aufbereitet, dass es in das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) integriert werden kann.

### 2. Untersuchungsmethodik

Nach einer umfangreichen Literaturlanalyse zu den Themenbereichen "Fahrstreifenreduktion ohne Baustelle", "Fahrstreifenreduktion infolge einer Baustelle" und "Reißverschlussverfahren" erfolgte eine detaillierte Untersuchung der Verkehrssicherheit an Fahrstreifenreduktionen (3 auf 2 Fahrstreifen) auf Bundesautobahnen ohne Baustelle. Basis dieser Untersuchung war die Auswertung der Verkehrsunfallanzeigen aus den Jahren 1998 bis 2000, die über die zuständigen Polizeidienststellen

beschafft wurden. Dabei wurden eindeutig knotenpunktbezogene Unfälle (Unfälle mit einfahrenden bzw. ausfahrenden Fahrzeugen, Rampenunfälle etc.) auf Grund der Fragestellung nicht mit einbezogen.

Bei der Unfalluntersuchung wurde zunächst der von der Fahrstreifenreduktion unmittelbar geprägte Bereich (Reduktionsbereich) analysiert. Dieser beinhaltet den Annäherungsbereich auf die Fahrstreifenreduktion sowie die folgende Verziehungsstrecke und beginnt in Abhängigkeit von der Lage der ersten Einengungstafel 500–1 200 m vor dem Anfang der Verziehungsstrecke. Um das Unfallgeschehen im Reduktionsbereich mit dem von Streckenabschnitten, die von der Fahrstreifenreduktion weit gehend unbeeinflusst sind, vergleichen zu können, wurden ein je nach Untersuchungsstelle 1,5–2 km langer dreistreifiger Streckenabschnitt vor dem Reduktionsbereich und ein ebenso langer zweistreifiger Abschnitt unmittelbar hinter dem Reduktionsbereich betrachtet. Nach einer makroskopischen Betrachtung der Unfallkenngrößen wurden mikroskopisch die äußeren Randbedingungen, der Unfallhergang und die Unfallfolgen näher analysiert.

Neben der Untersuchung der Verkehrssicherheit an Fahrstreifenreduktionen wurde der Verkehrsablauf empirisch analysiert. Bei den empirischen Erhebungen wurden querschnittsbezogene Geschwindigkeiten, Verkehrsstärken und Verkehrszusammensetzungen auf den einzelnen Fahrstreifen unmittelbar vor und/oder hinter den Fahrstreifenreduktionen ermittelt. Für die Erhebungen kamen zwei unterschiedliche Messsysteme zum Einsatz, die einzeln, aber auch an vielen Untersuchungsstellen gleichzeitig eingesetzt wurden. Um einen Eindruck über das Geschwindigkeitsprofil entlang von Fahrstreifenreduktionen zu erhalten, wurden bei sechs Untersuchungsstellen Verfolgungsfahrten durchgeführt. Zur späteren Analyse des Fahrverhaltens an Fahrstreifenreduktionen, aber auch um Informationen über äußere Randbedingungen (z. B. Regen, Unfall etc.) zu erhalten, wurde der Messaufbau zudem mit Videokameras ergänzt.

### 3. Untersuchungsergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse der Untersuchung der Verkehrssicherheit

Bei der Untersuchung der Verkehrssicherheit an Fahrstreifenreduktionen wurden 20 Untersuchungsstellen analysiert. Entscheidend für die Auswahl waren möglichst viele unterschiedliche Einflussmerkmale. Die Sicherheitsuntersuchung erfolgte makroskopisch (Unfallkenngrößen) und mikroskopisch (äußere Randbedingungen, Unfallhergang, Unfallfolgen).

Die makroskopische Analyse der Unfallkenngrößen zeigte die Tendenz, dass mit zunehmender Verkehrsstärke die Unfallanzahl und Unfallfolgen im Bereich der Fahrstreifenreduktionen zunahm. Sowohl in Bezug auf die Unfallhäufigkeit als auch auf die Unfallschwere waren Fahrstreifenreduktionen außerhalb von Ballungsräumen sicherer als innerhalb von Ballungsräumen. Außerdem zeigte sich, dass die Untersuchungsstellen mit einem hohen Anteil an Schwerverkehrsfahrzeugen geringere Unfallkenngrößen aufwiesen als diejenigen mit einem vergleichsweise kleinen Schwerverkehrsanteil. Bezüglich der Form der Fahrstreifenreduktion sind nur bedingt Aussagen möglich, da wegen fehlender Erkenntnisse zum DTV die Unfallkennzahlen innerhalb der Knotenpunkte systematisch unterschätzt werden. Es kann lediglich die Tendenz abgeleitet werden, dass Fahrstreifenreduktionen innerhalb von Knotenpunkten insbesondere bei Verkehrsstärken unter 40 000 Kfz/d unsicherer sind

als auf der freien Strecke. Bei niedrigen Verkehrsstärken ist diese Tendenz unklar.

Bei der mikroskopischen Analyse zeigte sich, dass bei der Hälfte der Untersuchungsstellen eine signifikante Häufung von Unfällen im Reduktionsbereich im Vergleich zu den Streckenabschnitten davor und dahinter vorlag. Verstärkt war dies auf Autobahnabschnitten innerhalb von Ballungsräumen der Fall, unabhängig davon, ob sich die Fahrstreifenreduktion im Knotenpunkt oder auf der freien Strecke befand. Zudem ergab sich, dass auffällig erhöhte Unfallanzahlen an Fahrstreifenreduktionen eher bei einem geringen Anteil an Schwerlastfahrzeugen auftraten. Ferner konnte die Tendenz beobachtet werden, dass es an Fahrstreifenreduktionen erst bei höheren Verkehrsstärken zu einer signifikanten Häufung von Unfällen kommt. Bei zwei Drittel der Strecken mit einem DTV zwischen 30 000 und 40 000 Kfz/(d u. Rtg.) und bei allen Strecken mit einem DTV über 40 000 Kfz/(d u. Rtg.) traten im Reduktionsbereich deutlich mehr Unfälle auf als auf den Vergleichsstrecken. Weiterhin zeigte sich, dass eine vergleichsweise frühe Ankündigung der Fahrstreifenreduktion (> 500 m) keinen positiven Einfluss auf das Unfallgeschehen im Bereich der Fahrstreifenreduktion hat.

Bei drei von vier untersuchten Fahrstreifenreduktionen wurde festgestellt, dass es sich bei den Unfällen im Reduktionsbereich im Vergleich zu dem dreistreifigen Abschnitt davor und/oder dem zweistreifigen Abschnitt dahinter zumeist um leichtere Unfälle handelte. Es stellte sich heraus, dass dies verstärkt bei schwächer belasteten Untersuchungsstellen der Fall war. Bei drei von fünf Untersuchungsstellen wurden verstärkt Auffahrunfälle im Bereich der Fahrstreifenreduktion registriert. Dieses Phänomen wurde häufiger in Knotenpunkten, in Kurven, aber vor allem auf stärker belasteten Strecken beobachtet. Bedeutende Einflüsse von Fahrstreifenreduktionen auf Unfälle mit Fahrstreifenwechsel, Nachtunfälle oder Nässeunfälle konnten nicht festgestellt werden.

Die wichtigsten Ergebnisse der Sicherheitsuntersuchung werden im Folgenden zusammengefasst:

- Mit Zunahme der Verkehrsstärke sinkt tendenziell die Verkehrssicherheit an Fahrstreifenreduktionen.
- Ab 30 000 Kfz/(d u. Rtg.) sind an Fahrstreifenreduktionen auffällig erhöhte Unfallzahlen zu erwarten.
- In Fahrstreifenreduktionen treten eher leichtere Unfälle auf (Auffahrunfälle mit Sachschaden).
- Sowohl in Bezug auf die Unfallhäufigkeit als auch auf die Unfallschwere sind Fahrstreifenreduktionen außerhalb von Ballungsräumen tendenziell sicherer als innerhalb von Ballungsräumen.
- Ein hoher Schwerverkehrsanteil scheint keinen negativen Einfluss auf die Sicherheit an Fahrstreifenreduktionen zu haben.
- Eine späte Ankündigung der Fahrstreifenreduktion (< 500 m) hat offenbar keinen negativen Einfluss auf das Unfallgeschehen.
- Auffällig mehr Nachtunfälle oder Nässeunfälle sind an Fahrstreifenreduktionen nicht zu erwarten.

### 3.2 Ergebnisse der Untersuchung des Verkehrsablaufs

Die Untersuchungen des Verkehrsablaufs beinhalteten verschiedene Untersuchungsansätze. Für die Ermittlung der Kapazitäten von Fahrstreifenreduktionen wurden sieben Untersuchungsstellen im Bereich von Knotenpunkten und 13 Untersuchungsstellen auf der freien Strecke messtechnisch erfasst.

Zudem wurde eine frühere Messung im Bereich einer Fahrstreifenreduktion auf der freien Strecke mit in die Untersuchung einbezogen. Ermittelt wurden die Verkehrsstärken und Geschwindigkeiten an Querschnitten vor und/oder hinter den Fahrstreifenreduktionen, wobei sich keine eindeutige Tendenz ergab, welcher Querschnitt geringere Kapazitätswerte lieferte.

Mittels Verfolgungsfahrten wurden Geschwindigkeitsprofile entlang von sechs Fahrstreifenreduktionen erstellt. Zudem wurde das Fahrstreifenwechselverhalten und die Befolgung des Reißverschlussverfahrens kurz vor der Verziehung an mehreren Fahrstreifenreduktionen untersucht.

Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung des Verkehrsablaufs werden im Folgenden zusammengefasst:

- Die Kapazität einer Fahrstreifenreduktion im Bereich von Knotenpunkten von Autobahnen wurde nicht bestimmt, da sich zeigte, dass oft nicht die Fahrstreifenreduktion hinter der Ausfahrt, sondern die darauf folgende Einfahrt den entscheidenden Einfluss auf die Kapazität des Knotenpunkts hat.
- Für Fahrstreifenreduktionen von drei auf zwei Fahrstreifen auf der freien Strecke von Autobahnen wurde eine Kapazität ermittelt, die im Mittel um 15 % unter der einer durchgängig zweistreifigen Richtungsfahrbahn liegt.
- Differenziert nach unterschiedlichen Streckencharakteristiken ergaben sich außerhalb von Ballungsräumen ohne Geschwindigkeitsbeschränkung 13 %, mit Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit auf 120 km/h 18 % und mit Beschränkung der zulässigen Geschwindigkeit auf 100 km/h 11 % bzw. 19 % geringere Kapazitäten als bei durchgängig zweistreifigen Richtungsfahrbahnen.
- Die Angaben zur Kapazität beruhen auf gemessenen maximalen Verkehrsstärke-Werten in 5-min-Intervallen an vier Untersuchungsstellen, sodass sie nicht statistisch abgesichert sind, aber eine eindeutige Tendenz aufzeigen.
- Die Verfolgungsfahrten ergaben, dass sich an Fahrstreifenreduktionen auch schon bei geringen Verkehrsstärken (freier Verkehr) stärkere Verzögerungen und Geschwindigkeitsschwankungen vor der Reduktion ergeben.
- Die Untersuchung des Fahrstreifenwechselverhaltens zeigte, dass mit Zunahme der Verkehrsstärke auch der Anteil der Fahrzeuge, die erst auf den letzten 100 m vor der Verziehung vom linken auf den mittleren Fahrstreifen wechselten, deutlich anstieg.
- Die Analyse der Befolgung des Reißverschlussverfahrens ergab, dass das Reißverschlussverfahren auf den letzten 200 m vor der Verziehung erst bei äußerst hohen Verkehrsstärken (Bereich der Kapazität) und geringen Geschwindigkeiten (< 70 km/h) Anwendung findet.

### 3.3 HBS-konforme Tabellen und Diagramme

Basierend auf den ermittelten Abminderungswerten, bezogen auf die verschiedenen Streckencharakteristiken (innerhalb/außerhalb von Ballungsräumen, T120/T100) wurden Bemessungstabellen entwickelt. Die Abminderungswerte wurden dabei mit den im HBS angegebenen Kapazitätswerten für zweistreifige Richtungsfahrbahnen multipliziert. Alle so errechneten Werte wurden HBS-konform auf fünf Fahrzeuge genau gerundet. Wie im HBS wurden die Werte für Abschnitte mit Tempolimit 120 km/h mit denen von Abschnitten innerhalb von Ballungsräumen ohne Tempolimit gleichgesetzt. Ebenso konnten über die im HBS angegebenen Auslastungsgrade für zweistreifige Richtungsfahrbahnen von Autobahnen die zulässigen Ver-

kehrsstärken bezüglich der sechs Qualitätsstufen abgeleitet werden.

Entsprechend der Darstellungsform im HBS wurden q-v-Diagramme in Abhängigkeit vom Schwerverkehrsanteil und der Streckencharakteristik erstellt. Randbedingungen waren dabei die ermittelten Kapazitäten bei 70 km/h und die mittleren Pkw-Reisegeschwindigkeiten in zweistreifigen Richtungsfahrbahnen bei freiem Verkehr aus dem HBS. Der Verlauf der erstellten Hyperbelfunktionen wurde den Punktwolken der empirisch ermittelten q-v-Wertepaare angepasst.

### 3.4 Verfahren zur Staulängen- und Verlustzeitberechnung

Aufbauend auf den Forschungsergebnissen und in Anlehnung an frühere Untersuchungen wurde ein Formblatt entwickelt, das es dem Planenden ermöglicht, für Fahrstreifenreduktionen auf Bundesautobahnen eine Abschätzung der zu erwartenden Staulängen und Verlustzeiten vorzunehmen.

In diesem Formblatt werden die Modellparameter  $v_0$ ,  $L_0$  und  $C_0$  zur Darstellung der q-v-Beziehungen des freien Streckenabschnitts aus dem HBS eingetragen. Für die Engstelle sind die in dieser Arbeit ermittelten Kapazitätswerte anzugeben. Zudem müssen die zufließenden Verkehrsstärken aus Prognosen oder Schätzungen in Stundenintervallen bekannt sein. Ergebnis der Berechnungen mit dem Formblatt sind mittlere und maximale Staulängen über den Tag.

Außerdem können mit dem Formblatt in jeder Stunde die Verlustzeiten der Fahrzeuge im Stau sowie die Gesamtverlustzeit aller Fahrzeuge ermittelt werden. Bei der Anwendung des Formblatts muss berücksichtigt werden, dass in der Realität ab einer gewissen Staulänge (10–20 km) die Menge des zufließenden Verkehrs abnimmt, da nach Verkehrsfunkmeldungen der Stau großräumig umfahren wird.

Das vorgestellte Verfahren kann problemlos in eine Excel-Tabelle übertragen werden, wodurch Rechenzeit gespart wird. So sind auch grafische Darstellungen wie Zufluss-Ganglinien oder Stauentwicklungen möglich.

Zudem kann die Genauigkeit des Verfahrens erhöht werden, indem über den Tag schwankende Schwerverkehrsanteile durch stündlich wechselnde Kapazitätswerte Berücksichtigung finden.

## 4. Schlussfolgerungen

Für den Einsatz, die Lage und die Ausführung von Fahrstreifenreduktionen auf Bundesautobahnen konnten auf Basis der Untersuchungen einige Folgerungen für die Praxis abgeleitet werden: Auf Grund ihrer negativen Auswirkungen auf den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit sind Fahrstreifenreduktionen möglichst zu vermeiden. Da sie aber durch den kontinuierlichen Ausbau des bundesdeutschen Autobahnnetzes nicht immer auszuschließen sind, sollten Fahrstreifenreduktionen möglichst an unkritischen Stellen liegen (gerade, ebene Strecken mit Verkehrsstärken unter 30 000 Kfz/(d u. Rtg)).

Es spricht einiges dafür, dass Fahrstreifenreduktionen eher im Bereich von Knotenpunkten zu legen sind, sofern die Verkehrsstärken in der dortigen Einfahrt und der Abstand zwischen Ausfahrt und Einfahrt dies erlauben. In Knotenpunkten stellen Fahrstreifenreduktionen nämlich oft nicht das kapazitätsbestimmende Element dar. Es treten zwar bei hohen Verkehrsstärken an Fahrstreifenreduktionen in Knotenpunkten im Vergleich zu denen auf der freien Strecke etwas mehr Unfälle auf. In Knotenpunkten wird aber eine Bündelung der besonderen Elemente Ausfahrt, Fahrstreifenreduktion und Einfahrt erreicht, wodurch eine höhere Aufmerksamkeit der Fahrer und geringere Geschwindigkeiten als auf der freien Strecke vorausgesetzt werden können. Die zulässige Höchstgeschwindigkeit sollte dann im gesamten Knotenpunktbereich auf 100 km/h beschränkt werden. Unter welchen Randbedingungen die Fahrstreifenreduktion zwischen Ausfahrt und Einfahrt oder aber z. B. kurz hinter der Einfahrt liegen sollte bzw. wann der rechte Fahrstreifen besser in Form einer Fahrstreifensubtraktion auszuführen ist, soll in einer weiteren Forschungsarbeit geklärt werden.

Um ein zu frühes Einfädeln zu vermeiden und die vorhandene Verkehrsfläche auszunutzen, sollte die Fahrstreifenreduktion erst 400 m vor der Verziehung angekündigt werden. Die Sicherheitsuntersuchungen stützen diese Empfehlung.

Frühere Forschungsvorhaben haben gezeigt, dass sich eine durchgezogene Fahrstreifenbegrenzungslinie zwischen dem linken und dem mittleren Fahrstreifen nicht bewährt, da sie zu zwei Einfädelungsbereichen (am Anfang und am Ende der Linie) führt.

Ein Hinweisschild zur Erläuterung des Reißverschlussverfahrens ist nicht kapazitätssteigernd, da sich gezeigt hat, dass das Reißverschlussverfahren erst im instabilen Verkehrszustand bei sehr geringen Geschwindigkeiten Anwendung findet. □