

## Entwurfshinweise zum sicheren 6-streifigen Ausbau von Autobahnen

FA 2.269

Forschungsstelle: Technische Universität Dresden, Institut für Verkehrsanlagen (Prof. Dr.-Ing. C. Lippold) / Universität Stuttgart, Institut für Straßen- und Verkehrswesen (Prof. Dr.-Ing. W. Ressel)

Bearbeiter: Ebersbach, D. / Lehmann, T. / Benner, A.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Abschluss: September 2010

### 1. Aufgabenstellung

Mit der Neustrukturierung des Kernregelwerks für die geometrische Gestaltung von Straßen werden seit 2008 für Autobahnen eigenständige Entwurfsrichtlinien - die RAA - herausgegeben. Damit sollte der erforderlich hohe Entwurfsstandard für Autobahnen gewahrt werden und eine Abgrenzung zu den anderen, einbahnigen und zweibahnigen Außerortsstraßen erfolgen.

Bei der Arbeit an den RAA hat sich gezeigt, dass in den Vorgängerrichtlinien "Richtlinien für die Anlage von Straßen - Teil: Linienführung (RAS-L)" (Ausgabe 1995) viele Regelungen zur Linienführung in Lage- und Höhenplan sowie bei der Straßenflächengestaltung vornehmlich aus der Forschung im Landstraßenbereich resultieren. Die Übertragung der fahrdynamischen und entwässerungstechnischen Modelle auf (schnell befahrene) Autobahnen war nur eingeschränkt möglich. Vor allem das Verhältnis zwischen den für eine Richtgeschwindigkeit von 130 km/h ausgelegten, fahrdynamisch begründeten Mindestwerten und sicheren Verhältniswerten für aufeinander folgende Entwurfselemente - bei in der Realität häufig sehr viel höheren Geschwindigkeiten - bedurfte einer vollständig neuen Absicherung.

Ziel der Untersuchung war es daher, für den Ausbau vierstreifiger Autobahnen auf sechsstreifige Querschnitte wissenschaftlich abgesicherte Grenzwerte für die Trassierung abzuleiten. Dabei wurde unterstellt, dass es sich bei sechsstreifigen Autobahnen immer um Ausbaustrecken handelt, der Neubau sechsstreifiger Autobahnen ist den Verfassern nicht bekannt.

Es war dabei ebenfalls zu prüfen, ob für Autobahnen Vorgaben an sichere Elementrelationen im Lageplan und in der räumlichen Überlagerung von Lage- und Höhenplan möglich sind, vergleichbar den Entwurfsgrundsätzen der "Relationstrassierung" für Landstraßen. Ebenfalls sollte berücksichtigt werden, ob die in den RAA für den Neubau formulierten geometrischen Vorgaben beim Ausbau von Autobahnen auf einen sechsstreifigen Querschnitt unter einschränkenden Randbedingungen bzw. bei örtlichen Zwängen unterschritten werden können und ob solche Unterschreitungen sicherheitstechnisch vertretbar sind.

Die Untersuchung umfasst vier methodisch unterschiedliche Ansätze:

- fahrdynamisch theoretisch begründete Dimensionierung der Entwurfselemente,
- Bewertung des Sicherheitspotenzials auf Grundlage der "Empfehlungen für die Sicherheitsanalyse von Straßennetzen" (ESN),
- Einzelanalyse der Geometrie der Trassierungselemente und Elementfolgen und
- Untersuchung der entwässerungstechnischen Aspekte, insbesondere in den Verwindungsbereichen und in Ausfahrten.

Es war außerdem zu prüfen, ob sich die Untersuchungsergebnisse in einem praktikablen Verfahren zur Überprüfung eines verkehrssicheren geometrischen Entwurfs für sechsstreifige Autobahnen zusammenführen lassen.

### 2. Untersuchungen

#### 2.1 Fahrdynamische Berechnungen

Die vorliegende Untersuchung war - zeitlich im Versatz - in die Neufassung der RAA eingebunden. Für den Entwurf der RAA war es bereits zu Untersuchungsbeginn erforderlich, als Diskussionsgrundlage für die Gremien der FGSV und für die Straßenbauverwaltungen eine Vorbemessung der Entwurfselemente in Lage- und Höhenplan vorzunehmen.

Dabei wurde zeitweilig auch ein korrespondierendes Vorgehen mit den ebenfalls neu zu erarbeitenden "Richtlinien für die Anlage von Landstraßen" (RAL) erwogen und geprüft. Letztlich sind jedoch in den RAL methodisch andere Wege beschrritten worden.

Für die RAA - und parallel für die vorliegende Untersuchung - ergab sich zunächst daraus, das bisherige fahrdynamische Modell in modifizierter Form weiter anzuwenden und damit die Grenzwerte in Lage- und Höhenplan sowie für die Straßenflächengestaltung festzulegen. Das galt vor allem für:

- den Mindestradius in Kurven  $\min R$ ,
- den Kuppenmindesthalbmesser  $\min H_K$ ,
- die Haltesichtweite  $S_h$  und
- die Querneigung  $q$ .

Folgende Punkte wurden für die Neufassung der Entwurfselemente berücksichtigt:

- Einbeziehung der Schwellenwerte für die Griffigkeit in tangentialer Richtung nach M BGriff,
- Neufestlegung der Ausnutzungsgrade, differenziert nach Rampen und Radien mit positiver/negativer Querneigung,
- angestrebter größerer Mindestradius als in den RAS-L (neu:  $\min R = 900 \text{ m}$ , EKA 1A),
- Reduzierung der maximal zulässigen Querneigung auf  $\max q = 6,0 \%$ ,
- maßvolle Reduzierung der erforderlichen Haltesichtweite auf Grund höherer Griffigkeitwerte,
- maßvolle Reduzierung der Kuppenhalbmesser auf der Basis kürzerer Haltesichtweiten,
- Zielpunkthöhe für Kuppenbemessung aus Sicherheitsgründen  $h_z = 0,50 \text{ m}$ .

Weitere Differenzierungen insbesondere für sechsstreifige Autobahnen haben sich aus der Auswertung zum Fahrverhalten und zur Verkehrssicherheit ergeben. Sie sind weiter unten beschrieben.

#### 2.2 Verfahren nach ESN

Mithilfe der Analyse nach den ESN wurde abgesichert, dass die ausgewählten Untersuchungstrecken sowohl hohe als auch niedrige Sicherheitspotenziale aufweisen, um den gesamten Variationsbereich potenziell unsicherer und sicherer Einzelelemente bzw. Elementfolgen abzudecken.

Gleichzeitig war das Sicherheitspotenzial eine hypothetisch diskutierte Bezugsgröße in einem - bereits oben genannten - künftigen Bewertungsverfahren für den sicheren Entwurf sechsstreifiger Autobahnen. Möglicherweise hätte aus bestimmten quantitativen geometrischen Vorgaben (z. B. großzügige Mindestwerte) ein entsprechend niedriges Sicherheitspotenzial resultieren können.

Es hat sich jedoch gezeigt, dass solche Rückschlüsse auf spezifische Trassierungsdefizite nicht möglich sind. Das Sicherheitspotenzial ergibt sich nicht nur aus Einflüssen aus der Trassierung sondern auch aus weiteren, verkehrlichen und betrieblichen Merkmalen. Der jeweilige Anteil dieser Merkmale ist streckenabhängig unterschiedlich und nur mit einem sehr großen Untersuchungsaufwand annähernd quantifizierbar. Das war im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen aus wirtschaftlichen Gründen nicht leistbar. Differenzierte Sicherheitspotenziale für Autobahnen z. B. in Abhängigkeit von der Anzahl der Fahrstreifen werden zwischenzeitlich aber im Rahmen des gemeinsamen Forschungsprogramms des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (BMVBS/FGSV) anderweitig ermittelt. Diese werden dann bei der derzeit laufenden Erarbeitung eines "Handbuches für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Straßen" (HVS) berücksichtigt.

### 2.3 Trassierungsparameter

Aus der Überlagerung von Geschwindigkeitsmessungen in Einzelelementen sowie in Elementfolgen und aus den Ergebnissen der Unfalluntersuchungen wurden Vorschläge für neue Mindestwerte, empfohlene höhere Richtwerte und für sichere Elementfolgen abgeleitet.

Dabei unterlagen die untersuchten Autobahnabschnitte hinsichtlich des Verkehrsaufkommens und der betrieblichen Einflussparameter (z. B. zulässige Höchstgeschwindigkeit) unterschiedlichen Randbedingungen.

Grundsätzlich wurde auch in der vorliegenden Untersuchung ein bereits aus der Literatur bekannter Zusammenhang bestätigt: Bei geringem Verkehrsaufkommen überwiegen Fahrunfälle, bei höherem Verkehrsaufkommen überwiegen Unfälle im Längsverkehr.

Ziel der Untersuchung war es aber auch, für die Entwurfsrichtlinien allgemeingültige Vorgaben, unabhängig von einer Differenzierung nach DTV, Lkw-Anteil oder  $V_{zul}$  abzuleiten.

Insofern wurden diese Einflussgrößen soweit wie möglich eliminiert. Die fahrdynamischen bzw. fahrverhaltensbasierten Messungen berücksichtigen das Einzelfahrzeug, Strecken mit Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit wurden von der engeren Auswertung ausgenommen.

Als Ergebnis der Untersuchung konnten für die Entwurfspraxis letztlich folgende Maßnahmen empfohlen werden:

- Der Mindestradius  $\min R = 900$  m nach RAA kann beibehalten werden. Voraussetzung ist die Gewährleistung geringer Geschwindigkeitsdifferenzen bei Einfahrt in  $\min R$  durch die Einhaltung von Radienrelationen  $R_1 / R_2 < 1,5$ .
- Bei aufeinanderfolgenden Radien, in denen der erste Radius deutlich größer als der Folgeradius ist ( $R_1 / R_2 \geq 1,5$ ), wird ein Radius  $\min R = 1\ 300$  m empfohlen.
- Nach Geraden mit einer Länge  $L_G \geq 1\ 000$  m kann mit einem Mindestradius von  $\min R \geq 1\ 500$  m ein deutlicher Sicherheitsgewinn erreicht werden.

- Aus dem Kuppenmindesthalbmesser nach RAA von  $H_K \geq 13\ 000$  m ergeben sich keine höhenplanbedingten Sichtschatten.
- Kuppenhalbmesser im Bereich des Mindestwerts von  $13\ 000$  m bis zu einem Wert von ca.  $15\ 000$  m weisen verhältnismäßig geringe Unfallkennwerte auf. Im Vergleich dazu sind Halbmesser von mehr als  $15\ 000$  m bis ca.  $21\ 000$  m tendenziell unsicherer und sollten nach Möglichkeit vermieden werden.
- Ab einem  $H_K \geq 21\ 000$  m reduziert sich das Unfallrisiko tendenziell. Es wird empfohlen, generell Kuppenhalbmesser  $H_K \geq 21\ 000$  m zu wählen.
- Die Werte für die Wannenmindesthalbmesser nach RAA wurden bestätigt.
- Bei der Bewertung der räumlichen Linienführung hat sich zur Vermeidung von Abbildungsverzerrungen ein Verhältnis von Lageplanradius zu Wannenhalbmesser von  $R : H_W \leq 1 : 7,5$  als tendenziell sicherer gezeigt.

### 2.4 Entwässerungstechnische Analyse

Die Auswertung der Unfalldaten lieferte keine ausgeprägten Zusammenhänge zwischen dem Unfallgeschehen bei Nässe und der Trassierung in Verwindungsbereichen.

Es konnte aber festgestellt werden, dass die Verwindungsbereiche, bei denen die maximale Wasserfilmdicke auf dem linken Fahrstreifen auftritt, höhere Unfallkennzahlen aufweisen. Das liegt vermutlich daran, dass dort die höchsten Geschwindigkeiten gefahren werden und es bei erhöhten Wasserfilmdicken schneller zu Aquaplaning kommt.

Weiterhin ergab sich, dass Verwindungsbereiche, in denen eine Beschränkung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit angeordnet war, nur sehr geringe Unfallkennzahlen aufweisen. Die Gefahr nicht angepasster Geschwindigkeit bei Nässe ist dort offensichtlich niedriger.

Für Ausfahrbereiche ergab die Auswertung der Unfälle höhere Unfallkennzahlen, wenn die Ausfahrt in einem Verwindungsbereich liegt. Hier überlagern sich die negativen Effekte aus breiter Fahrbahn und geringen Querneigungen.

Ausfahrbereiche mit konstanter Querneigung sind unproblematisch.

Ergänzend zu den Unfalldaten wurden mittels eines Simulationsverfahrens anhand eines Fallbeispiels Maßnahmen vorgestellt, um:

- die Wasserfilmdicke in Verwindungsbereichen auf freier Strecke zu reduzieren (RQ 36),
- die Wasserfilmdicke in Verwindungsbereichen von Ausfahrten auf das Niveau des Grundquerschnitts zu senken (RQ 36+),
- die Wasserfilmdicken in Ausfahrbereichen mit konstanter Querneigung zu reduzieren.

Es zeigt sich, dass der Einbau von Rinnen generell effektiver ist als eine Änderung der Trassierung. Die Richtlinien lassen für Letzteres nur noch wenig Spielraum zu. Allerdings sind auch beim Einbau von Rinnen die entwässerungstechnischen Vorteile mit den Nachteilen des erhöhten Unterhaltungsaufwands abzuwägen.

Für Verwindungsbereiche auf der freien Strecke hat sich neben dem Einbau von Querkastentrassen nur die Verdopplung der Anrampungsneigung als wirkungsvoll erwiesen. Diese ist allerdings fahrdynamisch bedenklich. Ungefähr dieselbe Wirkung ist

schon beim Einbau von zwei Querkastenrinnen zu erreichen (gerechnete Beispiele). Um die Wasserfilmdicke großflächig zu reduzieren, sind allerdings über fünf solcher Rinnen in sehr kurzen Abständen notwendig. Dies bedeutet einen hohen Unterhaltungsaufwand und ist fahrdynamisch ebenfalls kritisch. Rinnen sollten nur dann eingesetzt werden, wenn lokale Wasserfilmdickenmaxima reduziert werden sollen. Eine flächenhafte Verbesserung kann nicht erzielt werden.

Für Verwindungsbereiche, die in einem Ausfahrbereich mit zwei Ausfädelungsfahstreifen liegen, zeigt sich, dass mit dem Einbau einer Querkastenrinne die Wasserfilmdicken auf das Niveau eines RQ 36 gesenkt werden können. Allerdings bleiben bei kleinen Längsneigungen (ca.  $s \sim 1\%$ ) Maxima der Wasserfilmdicken auf dem linken Fahstreifen bestehen, die aber nur wenige Meter lang sind.

Sollten auf Bestandsstrecken Ausfahrbereiche mit konstanter Querneigung als Unfallschwerpunkte bei Nässe auftreten, z. B. auf Grund zu niedriger Querneigungen, ist auch der Einbau einer Längsrinne zwischen Hauptfahrbahn und Ausfahrbereich ein wirksames Mittel zur Reduktion der Wasserfilmdicken, da die Ausfädelungsfahstreifen von der restlichen Fahrbahn entkoppelt werden. Fahrdynamisch ist eine Längsrinne im Vergleich zu einer Querrinne eher unproblematisch. Der Unterhaltungsaufwand bleibt aber trotzdem.

### 3. Folgerungen für die Praxis

Mit der vorliegenden Untersuchung konnten für den Entwurf sechsstreifiger Autobahnen Empfehlungen für neue Grenz- und Richtwerte, für sichere Elementrelationen und für die Sicherstellung der Straßenflächenentwässerung gegeben werden.

Die Ergebnisse resultieren aus fahrdynamischen Berechnungen, aus Simulationen sowie aus Fahrverhaltens- und Unfalluntersuchungen. Das bedeutet eine Abkehr von der bisher überwiegend fahrdynamisch basierten Bemessung der Entwurfselemente für zweibahnige Außerortsstraßen und die Ergänzung um sicherheitstechnisch abgesicherte Festlegungen.

Wegen der zeitversetzten Arbeit an den RAA und am hier vorliegenden Forschungsvorhaben konnten nur erste, abgesicherte Zwischenergebnisse bereits in die neuen Entwurfsrichtlinien übernommen werden. Da die Herausgabe der neuen RAA jedoch noch vor Projektabschluss erfolgte, dienen die weiteren Empfehlungen als Diskussionsgrundlage für die Integration in die RAA bei deren Fortschreibung. Alternativ bzw. bis dahin ist die Mitnutzung als separates Verfahren zur sicherheitstechnischen Prüfung eines sechsstreifigen Autobahntwurfs möglich.