

Räumliche Linienführung von Autobahnen

FA 18.023

Forschungsstellen: Technische Universität Dresden, Fakultät für Verkehrswissenschaften, Lehrstuhl Gestaltung von Straßenverkehrsanlagen (Prof. Dr.-Ing. C. Lippold)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen (ISE) (Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. R. Roos)

Bearbeiter: Lippold, C. / Zimmermann, M. / Zösch, J.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Abschluss: Dezember 2015

- Knickwirkung im Lageplan,
- Knickwirkung im Höhenplan in der Wanne und in der Kuppe,
- Knickwirkung im Lage- und im Höhenplan (lageplanfremde Abbildung),
- Brettwirkung,
- kurze Zwischengerade zwischen zwei gleichgerichteten Kurven,
- Flattern,
- Verzerrung der Längsneigung,
- Aufwölbung und Abplattung sowie
- Schlängeln.

1 Aufgabenstellung

Der räumliche Verlauf einer Straße hat einen wesentlichen Einfluss auf das Fahrverhalten und auf die Verkehrssicherheit. Vor allem für Landstraßen wurden die räumliche Linienführung und Defizite in der räumlichen Linienführung bereits mehrfach untersucht. Die aus den Untersuchungen gewonnenen Erkenntnisse ließen sich allerdings nicht ohne Weiteres auf Autobahnen übertragen, da diese Straßen größere Entwurfselemente in der Linienführung und Querschnitte aufweisen. Daher konnte bei der Erarbeitung des Abschnitts 5.4 "Räumliche Linienführung" der Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA 2008) vorrangig nur auf Erfahrungswerte und Festlegungen zurückgegriffen werden. Weiterhin lag kein geschlossenes Verfahren zum Entwurf, zur Bewertung und zur Kontrolle der räumlichen Linienführung von Autobahnen auf der Grundlage qualitativer und quantitativer Parameter vor. Für Landstraßen wurde ein derartiges Verfahren bereits entwickelt. Es ist in den "Hinweisen zur Visualisierung von Entwürfen für außerörtliche Straßen" (H ViSt) enthalten und zu prüfen, ob es sich auf Autobahnen übertragen lässt oder anzupassen ist.

Ziel des Projekts war es, auf der Grundlage von Untersuchungen über die räumliche Linienführung von Autobahnen Empfehlungen für die Inhalte der RAA und der H ViSt zur räumlichen Linienführung zu geben.

2 Untersuchungsmethodik

In dem vorliegenden Forschungsvorhaben wurde geprüft, in welchem Umfang und unter welchen Randbedingungen Defizite in der räumlichen Linienführung auf Autobahnen auftreten und ob diese sicherheitsrelevant sind. Dazu wurden Bestandsstrecken auf Defizite in der räumlichen Linienführung untersucht und das Unfallgeschehen analysiert. Weiterhin wurden virtuelle Untersuchungsstrecken erstellt und mit deren Hilfe iterativ Grenzwerte ermittelt, ab wann Defizite in der räumlichen Linienführung auftreten.

Es wurden folgende mögliche Defizite untersucht:

- Sichtschatten (Tauchen, Springen und Springen mit Versatz),
- Dehnung und Stauchung,
- verdeckter Kurvenbeginn,

Als Untersuchungsstrecken wurden Autobahnabschnitte in bewegtem Gelände gewählt, die vor dem Jahr 1940 fertiggestellt wurden. Bei diesen Abschnitten wurde davon ausgegangen, dass sie aufgrund der damaligen Vorgaben im Regelwerk eher Defizite in der räumlichen Linienführung aufweisen (Defizitstrecken). Zusätzlich wurden Untersuchungsstrecken ausgewählt, die eine räumlich regelgerechte Trassierung haben (Vergleichsstrecken). Die Vergleichsstrecken dienten zur Prüfung, ob Autobahnen, die nach den Festlegungen der Entwurfsrichtlinien geplant wurden, weniger beziehungsweise keine Defizite in der räumlichen Linienführung und somit auch weniger Unfälle aufweisen.

Die Lage- und Höhenplandaten sowie die Unfalldaten der Untersuchungsstrecken wurden in ein Tool eingegeben, welches das Band für die Qualität der Sicht (QuaSi-Band) berechnet. Über die quantitative Einzelbildauswertung wurden die Strecken auf mögliche Defizite in der räumlichen Linienführung und deren Sicherheitsrelevanz analysiert. Neben der Einzelbildauswertung wurden auch Untersuchungen unter anderem zu der Streckenausdehnung der Defizite durchgeführt.

Die virtuellen Untersuchungsstrecken wurden mithilfe des Straßenentwurfsprogramms CARD/1 erstellt. Anhand dieser wurden die Grenzwerte der Defizite iterativ ermittelt, das heißt, ab wann und unter welchen Randbedingungen sie auftreten. Dazu wurden je nach betrachtetem Defizit einzelne Entwurfselemente unter Konstanzhaltung der anderen Entwurfselemente so lange verändert, bis sich Defizite einstellen beziehungsweise bis Defizite nicht mehr auftreten. Als Ausgangslage dienten dabei die Mindest- und Maximalwerte für die Entwurfselemente nach RAA. Es wurde davon ausgegangen, dass Defizite in der räumlichen Linienführung eher bei kleinen Entwurfparametern auftreten.

Die Prüfung der virtuellen Untersuchungsstrecken auf Defizite erfolgte je nach Defizit quantitativ durch Sichtschattenbänder und/oder qualitativ durch Perspektivbilder. Da die Beurteilung von gestalterischen Defiziten subjektiv beeinflusst ist, wurden für deren Grenzwertermittlung zusätzlich Probandenbefragungen durchgeführt. Dazu wurde zunächst über einen Dominanzpaarvergleich eine Rangreihe der erstellten Perspektivbilder ermittelt. Dabei wurde von den Probanden jedes Perspektivbild mit jedem verglichen, bewertet und angegeben, in welchem Bild das Defizit

stärker ausgeprägt ist. In Abhängigkeit der Häufigkeit der ausgewählten Bilder wurde eine Reihung der Bilder aufgestellt. Auf der Grundlage der Rangreihe wurde zur Grenzwertermittlung eine Expertenbefragung durchgeführt. Bei dieser wurde die Method of Adjustment (Regulierungs-Methode) angewendet. Die Probanden stellten über einen Regler aus einer Auswahl von Bildern das Bild ein, bei dem sie gerade so das entsprechende Defizit wahrnehmen konnten.

Auf der Grundlage der Ergebnisse der qualitativen und quantitativen Untersuchungen wurde der Änderungsbedarf für Ziffer 5.4 "Räumliche Linienführung" der RAA und für das in den H ViSt aufgeführte Prüfverfahren für Landstraßen ermittelt. Darauf aufbauend wurde ein Textvorschlag für die Ziffer 5.4 "Räumliche Linienführung" der RAA verfasst.

3 Untersuchungsergebnisse und Empfehlungen

In der Untersuchung zur räumlichen Linienführung von Autobahnen wurden folgende mögliche Defizite betrachtet:

- verdeckter Kurvenbeginn,
- Sichtschatten (Tauchen, Springen und Springen mit Versatz),
- Dehnung und Stauchung,
- Knickwirkung im Lageplan,
- Knickwirkung im Höhenplan, in der Wanne und in der Kuppe,
- Knickwirkung im Lage- und im Höhenplan,
- Brettwirkung,
- kurze Zwischengerade zwischen zwei gleichgerichteten Kurven,
- Flattern,
- Verzerrung der Längsneigung,
- Aufwölbung und Abplattung sowie
- Schlängeln.

Für die nachfolgende Bewertung der oben genannten Defizite sind zunächst zwei grundsätzliche Hinweise voranzustellen:

- Die RAA umfassen Autobahnen und autobahnähnliche Straßen von der EKA 1 bis zur EKA 3. Den Entwurfsklassen sind jeweils unterschiedliche Planungsgeschwindigkeiten zugrunde gelegt. Daraus resultiert eine große Spreizung der Mindestwerte für die Entwurfselemente im Lage- und Höhenplan. In der Folge kann es Defizite geben, die bei sehr großen Elementen von Autobahnen der EKA 1 nicht auftreten, jedoch bei autobahnähnlichen Straßen (EKA 2) und Stadtautobahnen (EKA 3). Darauf wird im Text dann jeweils differenziert hingewiesen. Für die Entwurfsempfehlungen und Schlussfolgerungen ist jedoch berücksichtigt, dass in der Praxis bei Stadtautobahnen die Anforderungen aus der räumlichen Linienführung häufig hinter die Einflüsse aus den städtebaulichen Zwängen und Restriktionen zurücktreten.

- Als Ergebnis der Unfalluntersuchung konnte bei den einzelnen Defiziten kein ausgeprägter nachteiliger Einfluss auf das Unfallgeschehen festgestellt werden. Dies ist sicherlich auf die im Vergleich zu Landstraßen sehr viel größeren Entwurfselemente zurückzuführen. Dadurch treten die sicherheitsrelevanten Nachteile von Defiziten in der räumlichen Linienführung gegenüber den gestalterischen Nachteilen zurück. Insofern wird in der folgenden Bewertung auf die Sicherheitsauswirkung kein differenzierter Bezug mehr genommen.

Verdeckter Kurvenbeginn: Verdeckte Kurvenbeginne können unter Verwendung der Mindestparameter nach RAA auftreten. Daher sollte eine neue Tabelle, die zur Vermeidung von verdeckten Kurvenbeginnen die erforderliche Verschiebung des Kuppenbeginns hinter den Kurvenbeginn angibt, in die RAA aufgenommen werden. Mit dem Prüfverfahren nach Ziffer 5.3.2 nach den H ViSt (Sichtschattenband) liegt eine in Entwurfsprogrammen integrierte Prüfmethode vor. Diese ist auch, wie in Abschnitt 5.2.1 gezeigt wurde, für Autobahnen maßgebend. Daher wird empfohlen, das Prüfverfahren zukünftig auch für Autobahnen anzuwenden. Das Verfahren braucht aber nicht extra in den RAA wiederholt zu werden.

Sichtschatten Sichtschatten und kritische Sichtschatten gemäß der Definition nach RAL können auch bei richtliniengerechter Trassierung nach RAA auftreten. Für Autobahnen sind jedoch Sichtschatten nicht sicherheitsrelevant und daher auch nicht kritisch im Sinne der RAL. Trotzdem wird empfohlen, in den RAA darauf hinzuweisen, Sichtschatten zu vermeiden. Der Nachweis kann nach den H ViSt in Analogie zur Überprüfung bei Landstraßen über Sichtschattenbänder erfolgen.

Dehnung und Stauchung Dehnungen wurden nur bei Wannenhalmessern festgestellt, die kleiner als die Mindestparameter nach RAA sind. Oberhalb der Mindestparameter trat das nicht auf. Weiterhin konnten auch Stauchungen festgestellt werden, jedoch nur wenige. Die Phänomene Dehnung und Stauchung brauchen daher nicht in die RAA aufgenommen werden.

Knick im Lageplan Die Knickwirkung im Lageplan wird unter der Annahme, dass der Klothoidenparameter ein Drittel des Kreisbogenradius beträgt, bei Radien $R \leq \text{ca. } 600 \text{ m}$ wahrgenommen. Das betrifft vor allem Autobahnen der EKA 2 und der EKA 3. Ein entsprechender Hinweis sollte in die RAA aufgenommen werden.

Knick im Höhenplan Im Bereich von Kuppen konnte keine Knickwirkung festgestellt werden. Dieses Phänomen ist für Autobahnen nicht maßgebend. Wird jedoch eine Gerade im Lageplan mit kleinen Wannenhalmessern im Höhenplan überlagert, kann eine Knickwirkung wahrgenommen werden. Solche Knickwirkungen im Höhenplan lassen sich bei Folgenden Wannenhalmessern vermeiden:

- $H_w \geq 3\,500 \text{ m}$ bei $\Delta s = 12 \%$,
- $H_w \geq 4\,750 \text{ m}$ bei $\Delta s = 8 \%$ und
- $H_w \geq 7\,000 \text{ m}$ bei $\Delta s = 4 \%$.

Diese betreffen Autobahnen der EKA 1 B bei geringen Längsneigungsdifferenzen sowie Autobahnen der EKA 2 und der EKA 3. Es wird empfohlen, in den RAA auf das Phänomen hinzuweisen.

Aufwölbung und Knickwirkung im Lage- und im Höhenplan:

Bei Kuppen wurden keine Defizite festgestellt. Bei Wannen wurden neben der Knickwirkung auch eine Aufwölbung wahrgenommen. Diese entstehen durch die Überlagerung von der Wanne und der Anrampung der Fahrbahnränder im Kreisbogen. Die Phänomene treten in Abhängigkeit von dem Wannenhalbmesser und der Längsneigungsdifferenz auf und lassen sich nur bei folgenden Parameterkombinationen vermeiden:

- $H_w < 2\,500\text{ m}$ bei $\Delta s = 12\%$,
- $H_w < 3\,000\text{ m}$ bei $\Delta s = 8\%$ und
- $H_w < 6000\text{ m}$ bei $\Delta s = 4\%$.

Da aber alle Mindesthalbmesser nach RAA größer sind, treten die Phänomene in der Praxis häufig auf. Um die Phänomene abschwächen zu können, sollten somit der Wannenhalbmesser und/oder die Längsneigungsdifferenz verringert werden. Es wird empfohlen, in den RAA darauf hinzuweisen.

Kurze Zwischengerade zwischen zwei gleichgerichteten Kurven

Kurze Zwischengeraden zwischen zwei gleichgerichteten Kurven unterbrechen den Linienfluss einer durchgehenden Kurve optisch nicht. Dieses Phänomen ist für Autobahnen nicht maßgebend und sollte nicht in die RAA aufgenommen werden.

Flattern und Schlängeln Flattern und Schlängeln kann unter Verwendung der Mindestparameter nach RAA auftreten. Flattern wird bei breiteren Querschnitten stärker wahrgenommen. Flattern und Schlängeln kann vermieden werden, wenn die Anzahl und die Lage der Wendepunkte im Lage- und im Höhenplan annähernd gleich sind. In die RAA sollte ein entsprechender Verweis aufgenommen werden.

Verzerrung der Längsneigung Verzerrungen der Längsneigung werden bei kleinen Wannen wahrgenommen. Die Längsneigung wird mit einem kleiner werdenden Wannenhalbmesser steiler empfunden. Das Phänomen ist nicht vermeidbar. Es hat jedoch gestalterisch so geringe Auswirkungen, dass es im praktischen Entwurf vernachlässigbar ist. Daher sollte es in den RAA nicht thematisiert werden.

Aufwölbung Die Aufwölbung tritt immer auf, wenn die Elementfolge Wanne – konstante Längsneigung – Wanne vollständig für den Fahrer sichtbar ist. Die RAA sollten auf dieses Phänomen hinweisen.

Abplattung Die Abplattung kann unter Einhaltung der Mindestparameter nach RAA nicht wahrgenommen werden. Sie ist für Autobahnen nicht relevant und sollte nicht in die RAA aufgenommen werden.

Brettwirkung Die Brettwirkung wird bei Einhaltung der Mindestparameter nach RAA nicht wahrgenommen. Es können jedoch Brückenbauwerke zwischen zwei Wannen wie ein Brett wirken, wenn sie nicht angemessen in den Streckenverlauf eingegliedert sind und von der Seite betrachtet werden. Der entsprechende Hinweis in den RAA sollte beibehalten werden.

4 Fazit

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass Defizite in der räumlichen Linienführung von Autobahnen trotz richtliniengerechter Trassierung nach RAA auftreten können. Diese haben jedoch keine Sicherheitsrelevanz.

Weiterhin hat sich ein Änderungs- und Ergänzungspotenzial für die Ziffer 5.4 "Räumliche Linienführung" der RAA ergeben. In der Ziffer 5.4 kann die Methodik zur Prüfung der räumlichen Linienführung von Autobahnen ausreichend beschrieben werden, sodass in der Ziffer 5 "Methodik zur Prüfung der räumlichen Linienführung" der H ViSt keine Änderungen erforderlich sind. Für die H ViSt (Ziffer 5) wären ausschließlich ergänzende Kommentare notwendig, ob die jeweiligen Hinweise für Autobahnen maßgebend sind oder nicht. Daher wurde ausschließlich ein Textvorschlag für Ziffer 5.4 der RAA erarbeitet, der folgende Punkte berücksichtigt:

- aktuelle Inhalte der Ziffer 5.4 "Räumliche Linienführung" der RAA,
- Schlussfolgerungen aus den Untersuchungsergebnissen und Empfehlungen nach Abschnitt 5.4,
- Inhalte der Ziffer 5 "Methodik zur Prüfung der räumlichen Linienführung" der H ViSt und
- Inhalte der Ziffer 5.4 "Räumliche Linienführung" der RAL.

Ein Verweis auf die H ViSt ist nur insofern nötig, dass die dort enthaltenen Hinweise zur Visualisierung (Ziffer 2, 3 und 4) und zur Nutzung des Sichtschattenbands (Ziffer 5.3.2) uneingeschränkt auch für Autobahnen gelten.

Der Textvorschlag soll als Diskussionsgrundlage für die Fortschreibung der RAA im zuständigen Arbeitsausschuss 2.1 "Autobahnen" dienen. Er wurde in Anlehnung an Ziffer 5.4 "Räumliche Linienführung" der RAL verfasst, um die in den Regelwerken angestrebte Harmonisierung der Gesamtstruktur zu ermöglichen und die Einheitlichkeit der verwendeten Fachbegriffe herzustellen.