

Entwicklung eines Verfahrens zur Kontrolle und Bewertung der räumlichen Linienführung von Außerortsstraßen auf der Grundlage quantitativer Parameter

FA 2.232

Forschungsstelle: Universität Karlsruhe (TH),
Institut für Straßen- und Eisenbahnwesen
(Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. R. Roos)

Bearbeiter: Zimmermann, M. / Lippold, C.
/v. Loeben, W. / Dietze, M.

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

Abschluss: September 2006

1. Aufgabenstellung

Ein qualitativ hochwertiger Straßenentwurf soll gewährleisten, dass der Kraftfahrer frühzeitig den Verlauf der Straße erkennen kann. Diesen einsehbaren Fahrraum nimmt der Fahrer mithilfe seiner Sinnesorgane wahr. Die größte Bedeutung hat dabei die optische Wahrnehmung. Deren Anteil an der Informationsaufnahme wird heute allgemein mit über 90 % angegeben.

Von der insgesamt zur Verfügung stehenden Informationsmenge wird allerdings nur ein geringer Teil als verkehrsmaßgebende Information erkannt und für das Fahrverhalten verarbeitet. Im Gehirn werden diese nach Ablauf komplexer Prozesse in bewusstes bzw. unbewusstes Handeln umgesetzt (Längs- und Querregelung des Fahrzeugs). Dies bedeutet, dass mit der Gestaltung der Straßenverkehrsanlage das Fahrverhalten der Kraftfahrer entscheidend beeinflusst wird. Eine gute optische Führung der Straße ist daher Voraussetzung für eine ausreichende Fahrsicherheit.

Die Bedeutung einer ausgewogenen räumlichen Linienführung wurde bereits bei den deutschen Autobahnprojekten der 30er Jahre des letzten Jahrhunderts erkannt. Die durchgeführten Überprüfungen beschränkten sich aber zwangsläufig auf die manuelle Erstellung von einzelnen Perspektivbildern und deren qualitative Bewertung. In den folgenden Jahrzehnten hat sich die prinzipielle Vorgehensweise nicht geändert, allerdings führte eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Thematik 1970 zum Teil "Räumliche Linienführung" der damaligen Entwurfsrichtlinien (RAL-L-2, FGSV 1970). Mit diesen Richtlinien wurden erstmalig komplexe Empfehlungen und Vorgaben zur räumlichen Linienführung in das Regelwerk aufgenommen. Bis zur aktuellen Fassung der RAS-L (FGSV 1995) wurden letztendlich nur kleinere Modifikationen vorgenommen. Mögliche Defizite sind verbal beschrieben und mit Beispielperspektivbildern einschließlich zugehörigem qualitativen Lage- und Höhenplan dokumentiert. Hierzu gehören sicherheitskritische Mängel wie Tauchen oder Springen und ästhetische Mängel wie Knicke oder Aufwölbungen.

Zu den jüngeren und umfassenderen Untersuchungen zur räumlichen Linienführung gehören die Arbeiten von Weise und anderen (2002) und Zimmermann (2001). Während bei Weise vor allem die Überarbeitung des Kapitels für die räumliche Linienführung im neuen Richtlinienwerk hinsichtlich planerischer Vorgaben im Vordergrund stand, wurde in Zimmermann eine Methodik entwickelt, wie unter Verwendung quantitativer, perspektivbildbasierter Parameter die Phänomene ungünstiger räumlicher Linienführung detektiert und letztendlich dem Betrachter aufgezeigt werden können. Diese Methodik diente als Ausgangspunkt für die vorliegende Arbeit. Ziel dieses Forschungsvorhabens ist es, quantitative Kriterien für die Bewertung der räumlichen Linienführung von Landstraßen zu ermitteln. Die Eignung der Kriterien sowie zugeordneter Grenz-

und Schwellenwerte soll durch Untersuchungen zum Fahrverhalten und zum Unfallgeschehen abgesichert werden.

Eng verbunden ist damit die Frage, welche Verhaltensweisen mit positiven und negativen Erscheinungen der räumlichen Linienführung verknüpft sind. Als Ergebnis soll sich daher auch zeigen, ob eine übersichtliche Trassierung mit frühzeitiger Erkennbarkeit des Trassenverlaufs tatsächlich eine Verbesserung der Verkehrssicherheit bewirkt. Umgekehrt ist zu prüfen, in welchem Maße Trassierungen mit optischen Mängeln nachweislich zu einem unangepassten oder gefährlichem Fahrverhalten führen.

2. Untersuchungsmethodik

Für die Beurteilung von Mängeln in der räumlichen Linienführung sind unstrittig vor allem drei Phänomene relevant: partielle Sichtschattenstrecken (Tauchen, Springen), verdeckte Krümmungswechsel bzw. Kurvenanfänge sowie Sichtverzerrungen in Wannenkurven. Diesen dreien wird ein zumindest tendenziell sicherheitsrelevanter Einfluss zugeschrieben, der im Rahmen dieses Projekts zu überprüfen ist. Weitere Mängel wie Aufwölbungen haben eher gestalterischen Charakter und sind daher wenn möglich auch zu vermeiden, jedoch mit geringerer Priorität.

Mit dem Verfahren zur Berechnung der Kenngrößen von Sichtschatten aus Zimmermann (2001) liegt ein Modell zur Ermittlung der physischen vorhandenen Sichtverhältnisse bei unsichtbaren Streckenabschnitten vor. Da für die Detektierung von Sichtschattenstrecken vor allem die objektive Sichtbarkeit von entgegenkommenden Fahrzeugen im vorausliegenden Streckenabschnitt von Bedeutung ist, wurde in diesem Fall keine Variation der Berechnungsansätze durchgeführt. Das Gleiche gilt letztendlich für die Beurteilung von vorausliegenden Krümmungswechseln bzw. Kurvenanfängen, bei denen zwar auch wahrnehmungsphysiologische Aspekte eine Rolle spielen, insgesamt jedoch die tatsächliche Sichtbarkeit des Straßenverlaufs aus Fahrersicht den Haupteinfluss hat.

Daher wurde bei der Parametervariation in den Berechnungsansätzen das Hauptaugenmerk auf die Parameter zur Detektierung von Sichtverzerrungen (Wanneneffekt) gelegt. Der Einschätzung folgend, dass die von Zimmermann (2001) entwickelte Beurteilungsgröße der relativen sichtbaren Fahrbahnoberfläche zwar kein für den Fahrer greifbares Maß darstellt, gleichwohl aber die aufzudeckenden Mängel differenzierbar macht, wurden unter Beibehaltung der grundsätzlichen Berechnungsweise aus dem Perspektivbild die darauf aufbauenden Bewertungs- und Darstellungsdetails variiert. Letztendlich war es jedoch nötig, die bei Zimmermann (2001) eingeführte Berechnung der sichtbaren relativen Fahrbahnoberfläche am Scheitelpunkt des Perspektivbilds beizubehalten, da alle untersuchten Vereinfachungen und Modifikationen die Differenzierungsmöglichkeiten der Phänomene stark eingeschränkt bzw. unmöglich gemacht hätten.

Um die Auswirkungen von Mängeln auf das Fahrverhalten analysieren zu können, wurden im Rahmen dieses Projekts an 11 Streckenabschnitten im südlichen Umland von Dresden Verfolgungsfahrten durchgeführt. Neben den Geometriedaten, die für eine Nachbildung der Strecken für die quantitative Analyse notwendig waren, wurden die Geschwindigkeitsverläufe

eines großen Kollektivs von Einzelfahrern sowie daraus abgeleitete Längs- und Querbeschleunigungen aufgezeichnet.

Für die Analyse des Fahrverhaltens wurde zunächst ein Geschwindigkeitsmodell entwickelt, das den Einfluss der räumlichen Linienführung auf das Fahrverhalten von anderen vor allem lageplanbedingten Einflüssen unterscheidbar macht (siehe Bild 1).

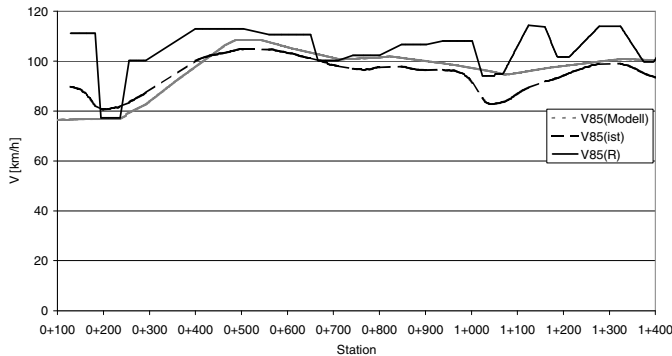


Bild 1: Vergleich zwischen der radienabhängigen V_{85} (R), der gefahrenen V_{85} Ist und dem Modell (V_{85} (Modell))

Dazu wurde aus dem Gesamtstreckenkollektiv die Funktion für eine lageplankrümmungsabhängige V_{85} ermittelt, da davon auszugehen ist, dass im weitaus größten Teil der Streckenabschnitte die Lageplantrassierung den größten Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl hat. Streckenabschnitte, bei denen vermutlich eine Beeinflussung der Geschwindigkeitswahl durch die räumliche Linienführung vorliegt, konnten dadurch detektiert werden, dass sich die gemessene V_{85} deutlich von der Modell-Geschwindigkeit – meist durch Überschreitung – unterscheidet. Erkennbare Einflüsse aus der Längsneigung allein wurden von den Einflüssen der räumlichen Linienführung getrennt. Vorrangig qualitative Erkenntnisse für die spätere Bestimmung von Grenz- und Schwellenwerten konnten vor allem für verdeckte Kurvenanfänge und Sichtverzerrungen gewonnen werden.

Mit dem Ziel, Grenz- und Schwellenwerte für die beiden oben angeführten Phänomene abzuleiten, wurde zusätzlich zu den Kenngrößen des Fahrverhaltens auch das Unfallgeschehen den Auswertungen der räumlichen Linienführung gegenübergestellt. In Bezug auf das Unfallgeschehen erwiesen sich die Strecken als wenig ergiebig, zumal an vielen Stellen die Einflüsse von Singularitäten im Lageplan mögliche Einflüsse aus der räumlichen Linienführung überdeckten. Trotzdem konnte der Nachweis zumindest des Einflusses von verdeckten Kurvenanfängen nachgewiesen werden.

Aufgrund der dargelegten geringen Anzahl von tatsächlich verwertbaren Streckenabschnitten für eine Analyse von Fahrverhalten und Unfallgeschehen wurde eine weitere Strecke aus dem Umland von Karlsruhe eingebracht, für die im Rahmen einer Seminararbeit das Unfallgeschehen detailliert untersucht worden war und insbesondere mangelhafte Sichtverhältnisse, die aus ungünstigen Elementüberlagerungen entstanden sind, als unsicherheitsfördernd erkannt wurden. Diese Ergänzung wurde insbesondere deshalb vorgenommen, weil diese Strecke zwar deutliche Mängel in der räumlichen Linienführung aufweist, die zugehörige Lageplantrassierung aber seitens der gewählten Parameter weniger auffällig ist. Gerade dieses Manko musste bei der Analyse der in Sachsen befahrenen Strecken festgestellt werden, da Querschnitte und Lageplantrassierung umfeldbedingt häufig so unzureichend sind, dass eine Auswertung speziell hinsichtlich der räumlichen Linienführung kaum leistbar war.

3. Untersuchungsergebnisse

Auf der Basis der Streckenabschnitte, bei denen tatsächlich Mängel in der räumlichen Linienführung zu Auffälligkeiten im Fahrverhalten bzw. Unfallgeschehen beitragen, wurden Grenz- und Schwellenwerte festgelegt bzw. bestätigt. Die maßgeblichen Größen sind dabei

- die minimale Entfernung zwischen Fahrer und erster Sichtbarkeit eines vorausliegenden Krümmungswechsels: 75 m bei Zugrundelegung einer relevanten Richtungsänderung von 3,5 gon und Beurteilung der Sichtbarkeit der Straßenoberfläche anhand des Beginns der Sichtschattenstrecke,
- die Beschränkung der Tiefe von Sichtschattenstrecken auf 0,75 m und
- die Begrenzung von Sichtverzerrungen in Wannenkurven auf einen Wert von maximal 1,17 als Relation der sichtbaren Fahrbahnoberflächen, was im Falle einer vollständigen Überlagerung einem Verhältnis R/H von ca. 1:10 entspricht.

Für die Kriterien, die mit Aufwölbungen und scheinbarem Gegenverkehr eher gestalterische Mängel detektieren, sind Auswirkungen auf das Fahrverhalten und das Unfallgeschehen nahezu ausgeschlossen. Dies und die Tatsache, dass diese Mängel in den betrachteten realen Strecken sehr selten auftreten, lassen es sinnvoll erscheinen, die Detektierung nicht durch weitere Grenzwerte einzuschränken, sondern dem Planer bzw. Prüfer diese Informationen mit dem Hinweis, auch solche Trassierungen wenn möglich zu vermeiden, bereitzustellen.

Als der wichtigste Bearbeitungsschritt für die Akzeptanz bei eventuellen Nutzern ist die Weiterentwicklung des QuaSi-Bands als Darstellungsmedium für die quantitativen Parameter räumlicher Linienführung anzusehen. Die in Zimmermann (2001) im Vordergrund stehende Entwicklung einer Methodik führte zu einer Darstellung möglichst aller Aspekte (siehe Bild 2). Für eine Auswertung der tatsächlich relevanten Mängel wurden sowohl die Berechnungsvorgänge um eine Unterscheidung entsprechend der oben angeführten Grenzen ergänzt als auch die Darstellung so modifiziert, dass unter verschiedenen Randbedingungen (wie z. B. Entwurfsklassen) die jeweils wesentlichen Mängel aufgezeigt werden können, ansonsten jedoch mit blassen Farbtönen die Abgrenzung von Sichtschattenbereichen an sich zwar erkennbar ist, jedoch nicht mehr wichtigere Aspekte in der Erkennbarkeit überdeckt (siehe Bild 3).

Die in der ursprünglichen Fassung noch enthaltene Darstellung aller Krümmungswechsel sowie der kompletten Sichtschattenstrecken mit ihrer Tiefe – unabhängig, ob Tiefe und Wiedererscheinen der Strecke als Bedingungen für tiefes Tauchen erfüllt sind – geben zwar bereits alle Informationen wieder, die zwei relevanten Krümmungswechsel sowie der eine Sichtschattenbereich mit wiederkehrender Sicht ist jedoch erst bei der unteren Darstellung für den Planer selbst bzw. einen Prüfer erkennbar.

Angesichts des aktuellen Diskussionsstands zur Neufassung der Richtlinien für die Anlage von Landstraßen (RAL) hinsichtlich möglicher Beschränkungen von Überholvorgängen im Gegenverkehr auf bestimmte Entwurfsklassen wurde ergänzend ein Überholsichtweitenmodell entwickelt, das dieser zukünftig eventuell geringeren Bedeutung einer Gewährleistung voller Überholsichtweiten Rechnung trägt. Neben die volle Überholsichtweite nach RAS-L 95, die für die Übersicht über die gesamte Länge des eigenen Überholwegs sowie der Strecke des entgegenkommenden Fahrzeugs benötigt wird, werden zwei weitere Größen gestellt: die reduzierte Überholsichtweite, die eine sichere Beendigung eines begonnenen Überholvorganges ermöglicht sowie eine Markierungssichtweite, die als Basis für

eine Markierung von Fahrstreifenbegrenzungen z. B. nach Zeichen 296 StVO verwendet werden kann, um den Sicherheitsabstand sowie den Weg eines entgegenkommenden Fahrzeugs auch für den reduzierten Überholweg zu sichern.

Mit diesem Projekt und der Weiterentwicklung der Berechnungsgrundlagen und Darstellung zu einer zwar nicht marktfähigen, aber voll funktionsfähigen Software liegen die wesentlichen Bausteine für eine Implementierung einer tatsächlich quantitativen Überprüfung der wesentlichen Aspekte räumlicher Linienführung in das Regelwerk vor. Die nächsten Schritte sind vor allem davon abhängig, in welcher Verbindlichkeit ein solches Kontrollverfahren eingeführt werden soll. Prinzipiell sinnvoll erscheint bei jeder außerörtlichen Straßenplanung eine automatisierte Erstellung des QuaSi-Bands, zumindest für die herausgearbeiteten wesentlichen Parameter mit den für sie relevanten Entfernungsbereichen und Ausdehnungen.

4. Folgerungen für die Praxis

Die Aussagemöglichkeiten und damit die Zielsetzungen einer DV-gestützten Erstellung von QuaSi-Bändern ist zweigeteilt zu sehen: Zum einen ist es für den planenden Ingenieur möglich, – gerade durch die nun reduzierte Informationsdichte – Mängel in der räumlichen Linienführung während des Entwurfsprozesses zu erkennen und entsprechend auszumerzen oder – falls aufgrund der Randbedingungen keine Umtrassierung möglich ist – Maßnahmen aufzuzeigen, wie die negativen Folgen für die Verkehrssicherheit möglichst gering gehalten werden können.

Zum anderen steht mit der vorliegenden Darstellung der relevanten Mängel in der räumlichen Linienführung ein Überprüfungswerkzeug im Rahmen von Entwurfsprüfung und/oder Auditierung zur Verfügung.

Die in der Analyse festgestellte Problematik, dass etliche der betrachteten Strecken besonders auffällige Mängel bereits in der Lageplantrassierung aufweisen und somit für eine besondere Betrachtung der räumlichen Linienführung letztendlich nur bedingt geeignet waren, lässt eine Ergänzung dieser Untersuchung zumindest bezüglich des Unfallgeschehens sinnvoll, wenn nicht sogar notwendig erscheinen. Das ergänzend dargelegte Streckenbeispiel zeigt, dass bei Strecken, deren Querschnittsausbildung und Lageplantrassierung zwar auch nicht vollkommen regelgerecht sind, jedoch keine extremen Auffälligkeiten aufweisen, die Auswirkungen von Mängeln in der räumlichen Linienführung auf das Fahrverhalten und damit das Unfallgeschehen deutlich besser herauszuarbeiten sind.

Daher wird empfohlen, in Ergänzung dieses FA-Vorhabens Strecken, die die oben angeführten Randbedingungen erfüllen, zumindest mit dem Unfallgeschehen zu überlagern und zur Bestätigung bzw. Differenzierung der Beurteilungskriterien und Grenz- bzw. Schwellenwerte heranzuziehen. Dafür bieten sich Strecken im Hügelland an, da erfahrungsgemäß in ausgeprägten Mittelgebirgsregionen häufig auch Trassierungseinschränkungen in den einzelnen Entwurfsebenen auftreten.

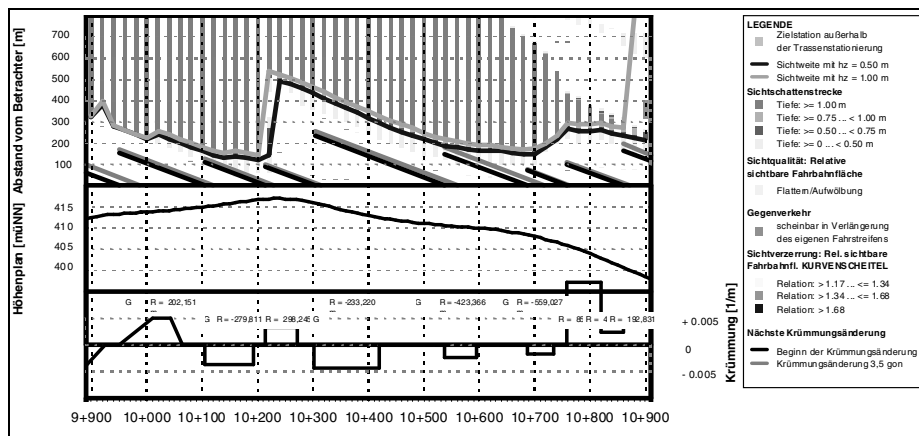


Bild 2: Verdeckter Kurvenbeginn und Tiefes Tauchen: vollständiges QuaSi-Band (S 194)

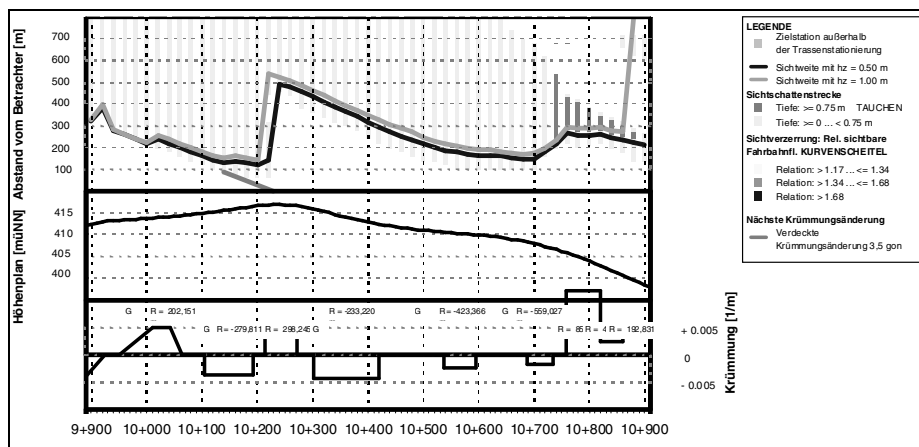


Bild 3: Verdeckter Kurvenbeginn und Tiefes Tauchen: QuaSi-Band mit relevanten Phänomenen (S 194)