

## Orientierungssichtweite – Definition und Beurteilung

FA 2.231

Forschungsstelle: Technische Universität Dresden, Institut für Verkehrsanlagen (Prof. Dr.-Ing. C. Lippold) / Universität Würzburg, Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften (Prof. Dr. H.-P. Krüger)

Bearbeiter: Lippold, C. / Schulz, R. / Krüger, H.-P. / Scheuchenspflug, R. / Piechulla, W.

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

Abschluss: März 2007

### 1 Aufgabenstellung

Die Sichtweite im Straßenentwurf ist kein eindeutig bestimmbarer Kennwert. Um sie als geometrische Größe beschreiben zu können, bedarf es Festlegungen und Vereinbarungen einzelner Ausgangsgrößen, die in ein zuvor bestimmtes Modell Eingang finden. Dies betrifft technische Parameter, die sich aus der Fahrzeugtechnik und straßenbaulichen Faktoren ergeben, ebenso wie psychologische Parameter, die dem Fahrerverhalten Rechnung tragen.

Die kraftfahrzeugtechnischen Verbesserungen in den vergangenen Jahren haben zu immer besseren fahrdynamischen Eigenschaften geführt. Die Bremsverzögerungen moderner Fahrzeuge sind wesentlich höher, als sie dem geltenden Haltesichtweitenmodell nach RAS-L (FGSV, 1995) zugrunde liegen. Vor allem die umfassende Ausstattung der Fahrzeuge mit ABS hat zu einer Diskussion des geltenden Bemessungsmodells der Haltesichtweite geführt. Die durch kürzere Bremswege plausibel erscheinende Verringerung der Haltesichtweiten könnte Kosteneinsparungen ermöglichen, z. B. durch geländeangepasste Trassierung oder den Verzicht auf Sichtbermen.

Die Beurteilung der Sichtweiten nach rein geometrisch-technischen Parametern greift jedoch zu kurz. Es stellt sich die Frage, inwieweit das Wahrnehmungsverhalten und Reaktionsvermögen der Fahrer darin Berücksichtigung findet. Aus diesem Ansatz ist das Konzept einer Orientierungssichtweite entstanden, die den Fahrer in den Mittelpunkt der Betrachtungen stellt und seiner Beanspruchung unter dem Aspekt der vorhandenen Sichtweite Rechnung tragen soll.

In einem interdisziplinären Ansatz aus Verkehrsingenieurwesen und Verkehrspsychologie wird das Fahrverhalten in Abhängigkeit von der Straßenraumgestaltung mit dem maßgebenden

Faktor Sichtweite untersucht. Im Ergebnis soll das Modell einer Orientierungssichtweite abgeleitet werden, das Eingang in das neu zu formulierende Richtlinienwerk des Straßenentwurfs finden oder bisherige Größen absichern kann.

### 2 Untersuchungsmethodik

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Sichtweiten auf das Fahrerverhalten zu untersuchen, wurde eine Kombination aus Probandenfahrten im realen Verkehrsraum und Untersuchungen im Fahrimulator gewählt. Die Beanspruchung der Fahrer bei geringer werdenden Sichtweiten wurde in verschiedenen Versuchsreihen anhand des Fahr- und Blickverhaltens, der Fähigkeit des Lösens von Nebenaufgaben während der Fahrt sowie der Reaktionsparameter an plötzlich auftauchenden Hindernissen bestimmt.

Aufgezeichnet wurden Daten des Fahrverhaltens sowie das Blickverhalten. Das verwendete Messfahrzeug vom Typ BMW 525d verfügt über ein berührungsloses Blickbewegungsmesssystem (SmartEye Pro 2.5). Das System erfasst Kopfposition und Blickrichtung des Fahrers durch zwei an der Frontscheibe des Messfahrzeugs angebrachte Infrarotkameras. Durch Bildverarbeitungsverfahren kann die Blickrichtung mit hoher Genauigkeit bestimmt werden, ohne dass der Fahrer durch das System in seinem Handlungsspielraum beeinträchtigt wird. Blickrichtung und Kopfposition werden mit einer Frequenz von 30 Hz aufgezeichnet. Zusätzlich filmt eine unter dem Fahrzeugdach eingebaute Szeneriekamera den Straßenraum aus der Sicht des Fahrers. In das so aufgenommene Video wird der Blickpunkt des Fahrers eingespielt. Dadurch sind eine Zuordnung des Blicks zu Objekten im Straßenraum sowie eine nachträgliche Bewertbarkeit der Verkehrssituation gegeben.

Die Untersuchungen im realen Verkehrsraum erfolgten auf einem Rundkurs von einbahnig zweistreifigen Bundes-, Staats- und Kreisstraßen. Die 75 km lange Strecke enthielt Abschnitte unterschiedlicher Kurvigkeit, Radienrelation und Seitenraumgestaltung. Zur Beobachtung von Verhaltensänderungen im Zusammenhang mit der vorhandenen Sichtweite wurden insgesamt 50 Kuppen oder Kurven mit Bepflanzung der Innenseite ausgewählt, welche die Sicht auf den weiteren Streckenverlauf verdeckten und so den Fahrer mit einer stetig geringer werdenden Sichtweite konfrontierten. Den Probanden war die Strecke vor der Fahrt nicht bekannt, sodass eine Kenntnis des verdeckten Streckenverlaufs und ein dadurch beeinflusstes Fahrverhalten ausgeschlossen werden konnten.

Die vorhandene Sichtweite wurde für den gesamten Außerortsanteil der Strecke durch GPS-Vermessung erfasst. Messpunkte befanden sich auf Geraden im Abstand von 50 m, in

Kurven alle 25 m. Die Sichtweiten zwischen den Messpunkten ergeben sich durch lineare Interpolation. Die Zielpunkthöhe wurde unter dem Aspekt der Orientierungsfunktion vorhandener Leitelemente mit 1,00 m angenommen, die Augpunkthöhe liegt wie in vergleichbaren Sichtweitenmodellen üblich ebenfalls bei 1,00 m. Die geringste gemessene Sichtweite betrug 57 m.

Der Einfluss der Sichtweite wurde anhand des Fahr- und Blickverhaltens bei der Annäherung an ein Sichtweitenminimum untersucht. Interessant dafür sind 50 ausgewählte Streckenabschnitte, in denen der Fahrer auf eine Kuppe oder Kurve mit blickdichter Bepflanzung zufährt. Die Sichtweite wird dabei stetig geringer, während andere streckenspezifische Parameter wie Fahrbahnbreite, Kurvigkeit und Seitenraumgestaltung weitestgehend unverändert bleiben. Um den Einfluss der Sichtweite von dem anderer Faktoren zu trennen, wurden diese 50 Situationen nach Kurvigkeit (Gerade, leicht kurvig, stark kurvig, Singularität) und Seitenraumgestaltung (einsehbar, blickdicht) kategorisiert.

In einer ersten Versuchsreihe wurde die Strecke von 20 Probanden befahren. Es handelte sich um ein homogenes Kollektiv erfahrener Fahrer beiderlei Geschlechts, die seit mindestens 6 Jahren im Besitz des Führerscheins sind und neben einer Fahrerfahrung von mindestens 60 000 km über einen eigenen Pkw verfügen, der häufig genutzt wird.

Die Aufnahme der Fahrverhaltensdaten erfolgt direkt vom fahrzeugeigenen CAN-Bus. Über eine Synchronisation mit Daten des im Messfahrzeug eingebauten GPS-Systems können diese der genauen Fahrzeugposition zugeordnet werden.

Die Fahrer erhielten vor der Fahrt keine Instruktionen, sondern sollten möglichst unbeeinflusst ("wie mit dem eigenen Auto") fahren. Im Anschluss an Ortsdurchfahrten, die für die Untersuchung keine Rolle spielten, wurde in der Regel durch kurze Stopps versucht, im vorausliegenden Streckenabschnitt möglichst selten auf andere Fahrzeuge zu treffen. Diese würden das Fahr-, vor allem aber das Blickverhalten stark beeinflussen. Da Gleiches auch für entgegenkommende Fahrzeuge gilt, wurden nach jeder Fahrt anhand der Szenerievideos sämtliche Abschnitte ausgesondert, in denen sich andere Fahrzeuge im Blickfeld des Fahrers befanden. Ebenfalls nicht zur Auswertung herangezogen wurden Bereiche 400 m vor und nach Ortschaften sowie Knotenpunkte.

Eine zweite Fahrt fand im zeitlichen Abstand von etwa 8 Wochen auf derselben Strecke statt. Ziel dieser Versuchsreihe war es, die Beanspruchung der Fahrer durch die Fahraufgabe anhand einer Nebenaufgabe zu bestimmen. Die Nebenaufgabe bestand in der Verfolgung eines scrollenden Textes (wie der Abspann eines Kinofilms), in dem eine bestimmte Begriffskombination erkannt und identifiziert werden sollte. Über der Mittelkonsole des Messfahrzeugs ist dafür ein Touchscreen angebracht, der als Ein- und Ausgabegerät diente. Der Bildschirm befand sich in bequemer Reichweite des Fahrers, aber außerhalb seines Blickfelds beim Fahren. Um die Aufgabe zu verfolgen, musste der Blick weg von der Straße und hin zum Touchscreen gewendet werden. Es wurde erwartet, dass der Fahrer dies nur tun kann, wenn er den vorausliegenden Streckenabschnitt ausreichend weit überblickt hat und einschätzen kann. Unterhalb der von ihm als ausreichend betrachteten Sichtweite dürften deutlich weniger Blicke zur Nebenaufgabe auftreten als in Abschnitten mit weithin einsehbarer Strecke. Ausgewertet wurden in dieser Versuchsreihe ebenfalls die Daten des Fahrverhaltens (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bremsengriffe) sowie der Zeitanteil, in dem der Blick zur Nebenaufgabe gerichtet war.

Ergänzend wurden beide Versuchsreihen im Fahrsimulator wiederholt. Dieser verfügt über ein Bewegungssystem mit 6

Freiheitsgraden sowie über eine voll instrumentierte Fahrzeugkonsole, die der eines serienmäßigen BMW 5er entspricht. Über Projektoren kann ein Bildausschnitt von 180° dargestellt werden, Außen- und Innenspiegel werden durch TFT-Displays dargestellt. Neben der Aufnahme sämtlicher Daten des Fahrverhaltens kann mittels eines SmartEye-Blickbewegungsmesssystems mit 4 Augenkameras das Fahrerblickverhalten erfasst werden. Für die Nebenaufgabe war analog zum Realfahrzeug ein Bildschirm im Beifahrerraum angebracht, die Identifizierung der gesuchten Begriffskombination erfolgte über am Lenkrad angebrachte Tasten.

Für die Messungen wurde der Außerortsanteil der Realstrecke komplett nachgebildet, inklusive der Straßenraumgestaltung und -bepflanzung. Da die vorhandene Sichtweite teilweise auch durch Seitenraumobjekte und deren Form beeinflusst wird, wurde für die Simulatorstrecke ebenfalls eine "virtuelle" Sichtweitenmessung durchgeführt. Das Verfahren entsprach dem der Realstrecke.

16 Personen befuhren die Strecke unter denselben Instruktionen wie im Realversuch. Zur Annäherung an reale Verkehrssituationen wurden entgegenkommende Fahrzeuge in die Simulation integriert, die stets in nicht zur Auswertung herangezogenen Bereichen auftraten. Durch den Wegfall von unkontrollierbar auftretendem Fremdverkehr und die im Simulator höhere Genauigkeit der Blickbewegungsmessung konnte hier eine breitere Datenbasis erwartet werden. Aus diesem Grund wurden das Blickverhalten und der Zeitaufwand für die Nebenaufgabe in einer Messreihe erfasst.

Eine weitere, nur im Simulator umsetzbare Versuchsreihe zielte auf die Reaktionsparameter bei plötzlich auftauchenden Hindernissen. Ein rechtzeitiges Anhalten vor solchen Hindernissen soll bereits durch die Haltesichtweite gewährleistet werden. Das zugrunde gelegte Modell entspricht allerdings einer Gefahrenbremsung, während die Orientierungssichtweite den Fahrer in die Lage versetzen soll, solche Situationen ohne abrupte Reaktionen zu bewältigen. Als Kriterien für abrupte Reaktionen wurden in Anlehnung an die Literatur folgende Werte definiert:

- Bremsverzögerung  $> 3,0 \text{ m/s}^2$
- Querbeschleunigung  $> 4,0 \text{ m/s}^2$
- Querruck  $> 0,5 \text{ m/s}^3$
- Minimale Time-to-Collision  $< 5 \text{ s}$

Zur Durchführung der Messungen wurde eine künstliche Strecke mit standardisierten Kuppen erzeugt, hinter denen sich Pannenfahrzeuge oder enge Rechtskurven mit einem Radius von 80 m befanden. Über unterschiedliche Kuppenhalbmesser wurde die Entfernung variiert, aus der das Hindernis für den Fahrer sichtbar wird. Pannenfahrzeuge erforderten ein Anhalten, die Kurven ein rechtzeitiges Bremsen, um sie im eigenen Fahrstreifen durchfahren zu können. Insgesamt gab es auf der Strecke 10 Kuppen mit Hindernissen, die bei Sichtweiten zwischen 70 und 220 m auftauchten. Zusätzliche Kuppen ohne nachgelagerte Hindernisse wurden zur Vermeidung vorausseilender Reaktionen eingebaut. In Vorversuchen wurde für alle auszuwertenden Maße eine Baseline erstellt, um Abweichungen von normalen Verhaltensparametern nachweisen zu können. Die Grundlage bildete eine als ausreichend betrachtete Sichtweite von 400 m bei Auftauchen des Hindernisses.

13 Probanden befuhren die Strecke auf Anweisung mit 100 km/h. Neben der Erfassung der Reaktionsparameter an den Hindernissen wurde zusätzlich direkt nach jeder Situation eine subjektive Bewertung gefordert: Die Probanden sollten die

Schwierigkeit der Fahraufgabe, die rechtzeitige Reaktionsmöglichkeit und die eigene Reaktion auf einer siebenstufigen Skala bewerten.

### 3 Untersuchungsergebnisse

Die Ergebnisse der Realversuche zeigen, dass die vorhandene Sichtweite einen Einfluss auf das Fahrverhalten ausübt. Auf geraden Abschnitten mit frei wählbarer Geschwindigkeit und freiem Umfeld zeigen sich bei Sichtweiten unterhalb von 200 m Veränderungen im Blickverhalten hin zu höherer Beanspruchung des Fahrers und Konzentration auf den Straßenfluchtpunkt. Gleichzeitig wird die Geschwindigkeit moderat verringert, teilweise durch Loslassen des Gaspedals, teilweise durch leichtes Bremsen. Diese Reaktion kann nicht durch andere Streckenmerkmale begründet werden und wird somit auf die fallende verfügbare Sichtweite und die damit ansteigende Verunsicherung des Fahrers zurückgeführt. Nahezu identisches Verhalten zeigt sich auf Geraden mit blickdichtem Umfeld, wobei hier die Unterschiede im Blickverhalten weniger ausgeprägt sind. Dies wird zum einen auf den Mangel an alternativen Blickzielen im Umfeld, zum anderen auf den häufigen Wechsel zwischen Licht und Schatten zurückgeführt. Die sichtweitenbedingte Verzögerung ist in beiden Abschnittskategorien gleich groß. Unterhalb von ca. 125 m Sichtweite ist eine Steigerung des beschriebenen Verhaltens zu verzeichnen. Der Blick bleibt nun fast ausschließlich auf der Straße, die meisten Probanden bremsen hier. Die verbleibende Sichtweite wird hier offenbar als kritisch betrachtet.

In kurvigen Abschnitten tritt der Einfluss der Sichtweite hinter den des Kurvenradius zurück. Dies trifft sowohl auf das Blickverhalten, welches verstärkt der Spurhaltung dient, als auch auf die Verzögerung zu. In leicht kurvigen Abschnitten, deren Kurvenradien keine Reduzierung der Geschwindigkeit erfordern, kann ein Einfluss der Sichtweite auf Blick- und Fahrverhalten festgestellt werden. Auch hier sind Tendenzen zur verstärkten Beanspruchung und Fluchtpunktkonzentration erkennbar. Ebenso findet eine Verzögerung statt, die durch die vorhandenen Kurvenradien nicht begründbar ist. Treten jedoch geringere Radien auf, so bestimmen diese Geschwindigkeitswahl und Blickverhalten.

Die Auswertung der Fahrten mit Nebenaufgabe zeigt ein ähnliches Bild. Auf Geraden ist eine vollständige Einstellung der Nebentätigkeiten bei Sichtweiten unterhalb von 150 m festzustellen. Bezüglich des Fahrverhaltens traten keine Unterschiede zu den Fahrten ohne Nebenaufgabe auf. Das bedeutet, dass die Nebenaufgabe als solche verstanden und umgesetzt wurde, ohne die primäre Fahraufgabe zu beeinträchtigen. Gleichzeitig zeigt sich die Reproduzierbarkeit der sichtweitenbedingten Verzögerung. In Kurven lassen sich keine Zusammenhänge zwischen Sichtweite und Nebentätigkeit feststellen, da der Blick hier durch die Notwendigkeit der Spurhaltung auf der Straße gehalten wird.

Der Simulatorversuch mit Nebenaufgabe bestätigt den Einfluss der Sichtweite auf Fahr- und Blickverhalten. Erste Verzögerungsreaktionen treten hier bereits bei Sichtweiten um 300 m auf. Diese werden durch Loslassen des Gaspedals realisiert, teilweise aber wieder korrigiert. Unterhalb von 200 m wird erneut verzögert. Die Blickzuwendung zur Straße steigt unterhalb von 250 m vorhandener Sichtweite, unterhalb von 150 m treten erste Bremsbetätigungen auf. Kurz darauf (bei 125 m Sichtweite) ist auch hier der Blick fast ausschließlich zur Straße gerichtet.

Die Untersuchung der Reaktionsparameter an plötzlich auftauchenden Hindernissen zeigt bei Sichtweiten unterhalb von 200 m erste Abweichungen vom Basisverhalten. Die definierten Grenzen für abruptes Verhalten bzgl. Verzögerung und Time-to-Collision werden bei 140 m Sichtweite überschritten. Hier ist eine kontrollierte Reaktion nicht mehr möglich. Bestätigt wird dies durch die subjektive Bewertung der Probanden, die ab einer Sichtweite von 140 m die Fahraufgabe als deutlich schwieriger

empfinden; unterhalb von 120 m wird häufig von unzureichender Orientierung gesprochen.

Insgesamt zeigt das Verhalten der Probanden ein hohes Maß an Übereinstimmung. Beeinflussen keine Kurven die Wahl der Geschwindigkeit und das Blickverhalten, so lassen sich Reaktionen auf geringer werdende Sichtweiten feststellen. Bei einer auf Landstraßen üblichen Geschwindigkeit von etwa 100 km/h ist unterhalb von 200 m vorhandener Sichtweite eine zunehmende Beanspruchung und Unsicherheit zu verzeichnen. Die dabei auftretenden Verzögerungen sind jedoch insbesondere bei sehr geringen Sichtweiten unterhalb von 125 m meist nicht ausreichend, um auf Gefahrensituationen noch reagieren zu können. Dies zeigt sich auch in der subjektiven Bewertung durch die Fahrer selbst und in ihrer Reaktion auf auftauchende Hindernisse auf der Fahrbahn oder überraschende Richtungsänderungen der Straße.

### 4 Folgerungen für die Praxis

Sichtweiten von 200 m und mehr gewährleisten für Fahrer auf Außerortsstraßen eine ausreichende Wahrnehmungs- und Entscheidungszeit. Unterhalb dieser Größenordnung stellen sich zunehmend höhere Beanspruchungen und ein unsicherer werdendes Fahrverhalten ein. Auf der Grundlage der Untersuchungsergebnisse werden deshalb als Orientierungssichtweite für Geschwindigkeiten im Bereich von

- 100 bis 120 km/h → 220 bis 250 m und für
- 80 bis 100 km/h → 180 bis 220 m

empfohlen. Die Werte liegen auf der "sicheren Seite" und berücksichtigen intra- und interindividuelle Unterschiede im Gesamtkollektiv der Fahrer.

Unter Zugrundelegung der künftigen planerisch maßgebenden Geschwindigkeiten ergeben sich für die einzelnen Entwurfsklassen die folgenden Werte (Vorschlag 1):

- EKL 1 – Orientierungssichtweite  $s_0 = 250$  m,
- EKL 2 – Orientierungssichtweite  $s_0 = 220$  m,
- EKL 3 – Orientierungssichtweite  $s_0 = 200$  m,
- EKL 4 – Orientierungssichtweite  $s_0 = 180$  m.

In Anbetracht der vermutlich geringen betrieblichen Unterschiede zwischen der EKL 2 und 3 erscheint es auch legitim, hier eine zusammengefasste Empfehlung für die Orientierungssichtweite zu geben. Damit könnte auch die Gestaltung der Sichtweiten zur deutlichen Unterscheidbarkeit der Fahrräume in den Entwurfsklassen beitragen. Als Diskussionsgrundlage sollte dann die folgende Zuordnung dienen (Vorschlag 2):

- EKL 1 – Orientierungssichtweite  $s_0 = 250$  m,
- EKL 2/3 – Orientierungssichtweite  $s_0 = 200$  m,
- EKL 4 – Orientierungssichtweite  $s_0 = 150$  m.

Die Orientierungssichtweite wird damit nicht über die derzeit geforderten Haltesichtweiten abgedeckt. Es erscheint aber wenig praxisnah, neben dem Modell der Haltesichtweite eine anteilige Orientierungssichtweite zu fordern, deren Werte knapp oberhalb der Haltesichtweiten liegen.

Im Sinne einer höheren Verbindlichkeit in Genehmigungsverfahren ist zu prüfen, ob die Haltesichtweite in ihren Werten nach RAS-L (1995) beibehalten werden kann. Kommt es hingegen zu einer Reduzierung der erforderlichen Haltesichtweiten, sollte in den RAL auf die Belange der Fahrerorientierung und die dafür notwendigen Sichtweiten gesondert hingewiesen werden.