

Einfluss der Straßenbepflanzung und Straßenraumgestaltung auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer und auf die Sicherheit im Straßenverkehr an Außerortsstraßen (Pilotstudie)

FA 2.217

Forschungsstelle: Technische Universität Dresden, Institut für Verkehrsanlagen
(Prof. Dr.-Ing. C. Lippold)

Bearbeiter: Lippold, C. / Dietze, M.

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

Abschluss: Juni 2005

1. Aufgabenstellung

In der heutigen Straßenplanungs- und Straßenbaupraxis dient die Gestaltung der Seitenräume entlang der Trasse vorwiegend ökologischen Belangen. Die Straßenverkehrsanlage soll somit besser in das Landschaftsbild eingegliedert werden und den baulichen Eingriff ausgleichen. Bekannt ist jedoch auch, dass sich eine bewusste Gestaltung positiv auf das Fahrverhalten auswirken kann. Diesen positiven Aspekten steht jedoch das Gefahrenpotential einer Seitenraumbepflanzung gegenüber. So wird z. B. der Bestand oder die Neupflanzung von Bäumen wegen der schweren Unfallfolgen bei abkommenden Fahrzeugen kritisch diskutiert. Die Literatur enthält nur wenige Untersuchungen zu möglichen positiven und negativen Effekten von Seitenraumgestaltungen. Bisher wurden noch nicht verschiedene Bepflanzungstypen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit untersucht. Auch in welchem Umfang sich die Verbesserung der optischen Linienführung auswirkt, ist noch nicht detailliert untersucht worden.

Mit dieser Pilotstudie waren ein Konzept und eine Methodik aufzustellen, mit denen Untersuchungen zum Einfluss der Seitenraumbepflanzung auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit durchgeführt werden können. Dabei bilden Untersuchungen in der Realität und im Fahrsimulator die Grundlage.

2. Untersuchungsmethodik

Im Rahmen dieser Pilotstudie wurden zwei unterschiedliche Untersuchungsmethoden angewendet. Um eine möglichst große Vielfalt der Seitenraumbepflanzung untersuchen zu können,

sind die Untersuchungen auf realen Strecken und in einem Fahrsimulator durchgeführt worden. Dabei sollte die Anwendung eines Fahrsimulators für derartige Untersuchungszwecke getestet und die Untersuchungen auf Realstrecken ergänzt werden. Die möglichen Bepflanzungen des Seitenraumes wurden in die Bepflanzungstypen Wiese/Feld, Baumreihe, Buschwerk, Allee und Wald differenziert. Hinsichtlich der geometrischen Eigenschaften im Lageplan wurde zwischen Gerade und Einzelkurve unterschieden. Diese strikte Einteilung ist vor allem deshalb notwendig, weil viele vorangegangene Forschungsarbeiten den großen Einfluss insbesondere der Lageplangeometrie zeigen. Darüber hinaus sind die zusätzlichen Einflüsse aus dem Höhenplan sowie die Überlagerung der beiden Entwurfs-ebenen zu berücksichtigen. Um den Einfluss der Seitenraumbepflanzung ermitteln zu können, musste daher darauf geachtet werden, dass die zu untersuchenden Strecken sich bezüglich ihrer geometrischen Eigenschaft nahezu gleichen und sich nur in der Seitenraumbepflanzung unterscheiden.

Die Aussagen zum Fahrverhalten stützen sich auf die gemessenen Fahrverhaltensindikatoren Geschwindigkeit und Spurposition. Beide Indikatoren wurden auf den realen Messstrecken und im Fahrsimulator erhoben.

2.1 Realstrecken

Die Messung auf den Realstrecken erfolgte durch Verfolgungsfahrten (Geschwindigkeit) und Querschnittsmessungen (Geschwindigkeit und Spurposition). An Querschnitten wurden das Spurverhalten mit einem videobasierten System und die Messungen der Geschwindigkeit mit Hilfe eines Lichtschrankensystems erhoben. Wichtig ist, dass die gesamte Messapparatur bei jeder Seitenraumbepflanzung eingesetzt werden kann und nicht vom Kraftfahrer als solche erkennbar ist. Als geeignet stellte sich die Installation der Messeinrichtung in Leitpfosten heraus, da diese vor Ort einfach auszutauschen sind. Die Messungen wurden ausschließlich an frei fahrenden Pkws durchgeführt. Der Umfang der Messungen beträgt bei Verfolgungsfahrten mindestens 30 Messfahrten und bei Querschnittsmessungen mindestens 100 Messungen je Richtung. Insgesamt wurden bei Querschnittsmessungen 7 763 und bei Verfolgungsfahrten 508 Einzelfahrzeuge erfasst.

Die Auswertung der Messdaten auf realen Messstrecken stützt sich auf verschiedene Modelle. Neben gängigen statistischen Auswerteverfahren und Kenngrößen wurden Modelle abgeleitet, die auf geometrischen Überlegungen und auf den Beobachtungen aus dem Fahrverhalten beruhen. Das Spurverhalten wurde auf der Grundlage eines fahrstreifen-genormten Abstandes und eines einheitlichen Fahrzeugmodells durchgeführt, damit die verschiedenen realen Messstrecken mit unterschiedlicher Fahrbahnbreite verglichen werden können. Die Rückrechnung auf reale Abstände aus den normierten Spurpositionen erfolgte mit Hilfe eines einheitlichen Querschnittes. Für die Bewertung des Spurverhaltens wurden ein fahrgeometrisch-sicherheitsorientiertes und ein fahrverhaltensorientiertes Spurtypenmodell aufgestellt.

2.2 Fahrsimulator

Die Untersuchungen im Fahrsimulator wurden mit fünf Probanden durchgeführt. Analog zu den Untersuchungen auf Realstrecken wurde die Bepflanzung in die Typen Wiese/Feld, Buschwerk, Baumreihe, Allee und Wald differenziert. Grundlage der Simulatorstrecke war eine reale Strecke, um einen Vergleich der Messdaten zu ermöglichen. Zusätzlich wurden in die Simulatorstrecke Übergangsbereiche eingefügt, um die relevanten Streckenabschnitte voneinander zu trennen. Die Simulatorstrecke hat eine Gesamtlänge von 8,7 km. Bei der Befahrung der Strecken durch den Probanden wurde abschnittsweise die Bepflanzung geändert, wobei der Proband die Strecke mehrmals befuhr und somit jeder Abschnitt mit jedem Bepflanzungstyp befahren wurde. Während der Messfahrt wurden die Indikatoren Geschwindigkeit und Spurposition aufgezeichnet. Darüber hinaus lieferte der Fahrsimulator Daten über Bedienhandlungen (z. B. Bremsen) und das integrierte Blickmessungssystem, den Blickvektor. Diese Daten sind ebenfalls in die Auswertung eingeflossen.

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Realstrecken

Das Spurverhalten auf Geraden allgemein zeigt, dass der Großteil der Kraftfahrer das Fahrzeug links versetzt von der Mitte des eigenen Fahrstreifens bewegt (bezogen auf die Fahrzeugachse). Dieses Verhalten ist unabhängig von der Seitenraumbepflanzung und von der Fahrbahnbreite zu beobachten. Aus den vorliegenden Spurverhaltensmessdaten kann der Einfluss der Seitenraumbepflanzung abgeleitet werden. Die Einflussnahme ist gering, jedoch anhand der vorliegenden Daten signifikant nachweisbar. Auf Messquerschnitten mit einer einseitigen Bepflanzung (z. B. einseitige Baumreihe) sind die Unterschiede zwischen Fahrrichtungen (unterschiedliche Bepflanzung) deutlicher als bei dem Vergleich unabhängiger Messsequenzen. In jedem Fall lässt sich aber folgender Trend nachweisen: Befindet sich im rechten Seitenraum eine aufragende Bepflanzung (z. B. Wald, Bäume oder Buschwerk), so führt dies zu einer weiter rechtsversetzten Fahrweise, als wenn im rechten Seitenraum eine Wiese/Feld wäre. Das heißt, dass der Kraftfahrer eine Spurposition zur aufragenden Bepflanzung hin wählt.

Analog zu den Untersuchungen über Lageplangeraden konnten auch für die Lageplankurve Unterschiede im Spurverhalten festgestellt werden. In Kurven wird die Spurposition stark durch das Kurvenschneiden bestimmt, wobei sich prinzipiell Unterschiede zwischen Links- und Rechtskurven ergeben. Es konnte festgestellt werden, dass in Kurven, in denen die Seitenraumbepflanzung ein Sichthindernis in der Kurveninnenseite darstellt, das Kurvenschneiden deutlich geringer ausgeprägt ist als bei freien Sichtfeldern. In diesem Falle kann jedoch nur ein indirekter Einfluss der Seitenraumbepflanzung angenommen werden, da sicher die Sichtverhältnisse ausschlaggebend sind,

die jedoch durch die Seitenraumbepflanzung beeinflusst werden. Interessant ist das Ergebnis der Messsequenz mit einseitiger Baumreihe in der Kurvenaußenseite. Trotz vergleichbarer Sichtbedingungen wie auf der Messsequenz Wiese/Feld ist das Kurvenschneiden schwächer ausgebildet. Vor allem im Kurvenausgang wird bereits wieder nah an der Mitte des eigenen Fahrstreifens gefahren. Generell hätte man ein gleiches Verhalten erwarten können, da eine ausreichende Sicht ein extremes Kurvenschneiden zulassen würde. Die berechneten Differenzen der realen Seitenabstände weisen deutlich höhere Werte auf als auf Lageplangeraden. Der maximale Versatz betrug 91 cm (85 % Quantil "extreme Linksfahrweise"). Die Unterschiede liegen in der Regel über 20 cm. Wie bei den Lageplangeraden wurde die höchste Varianz der Messwerte für alle Messquerschnitte bei der Kurve mit Wiese/Feld ermittelt.

Die Auswertung der Geschwindigkeitsmessungen auf Geraden erbrachte keinen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Seitenraumbepflanzung. Es sind Unterschiede vorhanden, die jedoch keiner Systematik folgen. Gegebenenfalls lassen sich bei einem größeren Kollektiv Tendenzen oder Zusammenhänge ermitteln.

Die Ergebnisse aus den durchgeführten Querschnittsmessungen und den Verfolgungsfahrten zeigen Unterschiede zwischen gleichen Kurven mit unterschiedlicher Seitenraumbepflanzung. Die Untersuchungen zeigen, dass bei gleichen Bedingungen hinsichtlich der Geometrie auf den Messsequenzen mit beidseitiger Bepflanzung (Wald oder Baumallee) höhere Geschwindigkeiten gefahren werden als auf den Messsequenzen mit Wiese/Feld bzw. einseitiger Baumreihe. Bei der Messsequenz mit einseitiger Baumreihe in der Kurvenaußenseite wurde festgestellt, dass die Rechtskurve deutlich langsamer als die Linkskurve befahren wird. In der Linkskurve wird zudem später und stärker verzögert. Dies könnte auf die zusätzliche optische Führung der Baumreihe deuten, die dem Kraftfahrer den Kurvenverlauf und den Richtungswechsel besser vermittelt.

Die Unfalldaten erstrecken sich über einen Zeitraum von acht Jahren und wurden von allen untersuchten Messsequenzen erhoben. Die Analyse dieser Daten sollte einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Unfallgeschehen und der vorhandenen Seitenraumbepflanzung aufzeigen. In der Regel ist die Seitenraumbepflanzung nicht kausal am Unfallhergang beteiligt, kann jedoch die Unfallfolge dramatisch verschärfen. Vor allem der Unfall mit Aufprall auf Baum führt oftmals zu Unfalldoten und Schwerverletzten.

Für die Analyse standen insgesamt vier Einzelkurven (Wald, Allee, Wiese/Feld und einseitige Baumreihe) und sechs Lageplangeraden mit jeweils verschiedenartiger Bepflanzung (Wald, Allee, Wiese/Feld, einseitiges Buschwerk und einseitige Baumreihe) zur Verfügung. Die Auswertung der Unfallkenngrößen Anzahl der Unfälle, Verteilung der Verunglückten, Unfalldichte und Unfallraten ergab jedoch keinen Zusammenhang zwischen dem Unfallgeschehen und der Seitenraumbepflanzung. Gleiche bzw. ähnliche Kenngrößen ergaben sich auch bei konträrer Bepflanzung (Wald – Wiese/Feld). Dies ist vor allem auf den geringen Umfang der Messsequenzen zurückzuführen. Für eine gesicherte Unfallanalyse ist ein wesentlich höheres Messstreckenkollektiv notwendig.

3.2 Fahrsimulator

Im Simulator zeigen sich deutliche Unterschiede im Fahrverhalten (Geschwindigkeit, Spur), die auf die Manipulation der Bepflanzung zurückzuführen sind. Es wurde ein relativ deutlicher Einfluss der Bepflanzungsart auf die gefahrene Geschwindigkeit identifiziert. Dabei stellt sich allerdings die Frage, ob man tatsächlich erwarten sollte, dass sich die mittlere gefahrene Geschwindigkeit oder ein anderes Quantil der Geschwindigkeits-

verteilung durch die Bepflanzung im Seitenraum ändert, ob also Effekte auf das Geschwindigkeitsniveau zu erwarten sind. Möglicherweise entfaltet die Bepflanzung erst Effekte in den Extrembereichen der Verteilung (also: nur die Raser werden von der Bepflanzung beeinflusst) oder auch nur lokalisiert an bestimmten Punkten der Strecke.

Ein solcher ortsbezogener Effekt konnte durch die Änderungen im Antizipationsverhalten gezeigt werden; eine geeignete Unterstützung der Geschwindigkeitsanpassung durch optische Führung führt hier zu früherer Reaktion auf die Einzelkurven. Aufragender Bewuchs, der nicht die Sicht auf den weiteren Streckenverlauf verdeckt, führt hier zu deutlich früherem Bremsen.

Generell erlaubt die kontinuierliche Messdatenerfassung im Simulator die Erstellung von Profilen und Verläufen sowie die Berechnung von Streuungsparametern, die im Fall der Spurführung mit der Schwierigkeit der Fahraufgabe assoziiert sind. Auch hier zeigen sich Effekte der Bepflanzungsart, die aber mit der Art der Strecke interagieren. Während auf kurvenreichen Strecken und auf geraden Streckenstücken die Linienführung den dominierenden Einfluss auf die Standardabweichung der Querabweichung nimmt, da auf der Geraden im wesentlichen präzise die Spur gehalten wird, und auf den nicht relationstrasiierten Streckenabschnitten die Spurführung fast notwendigerweise unpräziser ist, tritt in den Einzelkurven ein deutlicher Effekt verschiedener Bepflanzungsarten zu Tage. Interessanterweise werden diese Effekte offensichtlich durch die Anwesenheit von Gegenverkehr überlagert, wie die Ergebnisse des Durchgangs mit voller Streckenausstattung und Gegenverkehr zeigen.

Der Vergleich der Geschwindigkeiten und der Spurlage, die am Fahrsimulator vs. realen Strecken erhoben wurden, zeigt eine gute Übereinstimmung. Dagegen konnten die Effekte aus den Querschnittsmessungen und Verfolgungsfahrten im Realverkehr, insbesondere was die Veränderung der Spurlage bei einseitiger Baumreihe angeht, im Simulator nicht repliziert werden. Hierfür sind verschiedene Gründe denkbar: Zum einen hatte die simulierte Strecke einen schmaleren Querschnitt als die Strecken der Realversuche, was zu Veränderungen der Spurlage führen kann. Zum zweiten wies die simulierte Strecke keinerlei Straßenausstattung auf, während die Realstrecken im Allgemeinen mit Seiten- und Mittelmarkierung sowie Leitpfosten versehen waren. Aus der Literatur ist bekannt, dass Seitenmarkierungen generell einen Einfluss auf die Spurlage haben (STEYVERS/DE WAARD 2000). Meist bewirken sie einen größeren Seitenabstand; allerdings wird über die Bepflanzung im Seitenraum in diesen Studien nichts berichtet. In Alleen führen Seitenlinien zu einer Verlagerung von 23 bis 41 cm nach rechts (ZWIELICH u. a., 2001), Mittelmarkierungen ziehen nach denselben Autoren die Fahrer nach links, aber mit 11 bis 28 cm in geringerem Ausmaß. Insofern könnte die Spurverlagerung bei aufragendem Bewuchs im Seitenraum in der Realfahrt also auf die Markierung zurückgehen, die im Simulator explizit nicht angebracht worden war.

4. Schlussfolgerungen

Die Pilotstudie hat gezeigt, dass die Seitenraumbepflanzung einen Einfluss auf das Fahrverhalten hat. Die Unterscheidung in die Bepflanzungstypen Wiese/Feld, Buschwerk, Baumreihe, Allee und Wald und die Differenzierung in Gerade und Einzelkurve ist sinnvoll und praktikabel. Als geeignete Fahrverhaltensindikatoren zeigten sich die Geschwindigkeit und die Spurposition. Für die Beschreibung von Beschleunigungs- und Verzöge-

rungsvorgängen sollten darüber hinaus die Beschleunigungen in Längsrichtung erhoben werden. Querbeschleunigungen könnten als zusätzlicher Indikator für die Analyse von Kurvenfahrten herangezogen werden. Der Vergleich der Messdaten des Fahrsimulators mit denen der Realstrecken zeigt, dass Gemeinsamkeiten vorhanden sind. Der Fahrsimulator eignet sich daher als zusätzliches Untersuchungsinstrument.

Da sich die angewendeten Untersuchungsmethoden für die Realstrecken und den Fahrsimulator als geeignet zeigten, sollten diese weiterhin angewendet und weiterentwickelt werden. Eine wichtige Erweiterung für fortführende Untersuchungen liegt in der Vergrößerung des Messkollektives. Innerhalb der Untersuchungen auf Realstrecken wurden in der Pilotstudie jeweils nur ein Beispiel je Bepflanzungs- und Geometrietyt verwendet. Für gesicherte Aussagen sollten jedoch mindestens vier oder fünf Beispiele verwendet werden. Auch eine feinere Differenzierung von Radien bei Einzelkurven wird empfohlen. Die Fahrverhaltensindikatoren sollten mit Hilfe von Verfolgungsfahrten in Kombination mit Querschnittsmessungen erhoben werden. Auch die Untersuchung des Blickverhaltens sollte als weiterer Indikator verwendet werden, um mehr Erkenntnisse über die Wahrnehmung der optischen Führung von Bepflanzung zu erhalten. Die vorliegenden Ergebnisse aus den Blickuntersuchungen erbrachten jedoch noch keine gesicherten Ergebnisse. Die Messwerte unterlagen großen Varianzen, so dass ein eventuell vorhandener Einfluss der Bepflanzung im Grundrauschen der Daten liegt. Dies ist auch auf den Umfang des Untersuchungskollektives zurück zu führen. Für eine nachfolgende Studie wurde jedoch ein umfangreiches Analyseprogramm vorgeschlagen, das sich auf verschiedene Parameter stützt.

Das Unfallgeschehen ist auf ein höheres Untersuchungskollektiv zu stützen und sollte für mindestens drei Jahre betrachtet werden. Die Auswertung der Unfalldaten konnte im Rahmen dieser Pilotstudie nur prinzipiell demonstriert werden. Dabei wurde sich vor allem auf die Analyse von Unfalldichten und Unfallraten gestützt. Die vorliegenden Daten erlaubten aber keine Ableitung von Zusammenhängen.

Generell hat sich der Ansatz im Fahrsimulator als sinnvoll und praktikabel gezeigt. Da im Fahrsimulator die Strecke frei gestaltet werden kann, ergeben sich die verschiedensten Untersuchungsansätze (z. B. mit oder ohne Fahrbahnausstattung). Ein wichtiger Aspekt bei Untersuchungen im Fahrsimulator ist die Streckenkenntnis der Probanden. Da zunehmende Streckenkenntnis das Fahrerverhalten verändert, ist mit einer erhöhten Fehlervarianz zu rechnen, die in statistischen Auswertungen das Entdecken vorhandener Effekte erschwert. Für eine nachfolgende Untersuchung wird empfohlen, die einzelnen Situationen (Streckenabschnitte) in zufälliger Folge zu kombinieren. Dabei sollten mehrere Instanzen einer Situation befahren werden, die sich in fahrirrelevanten Details unterscheiden sollten, z. B. in der Gestaltung der Landschaft im äußeren Seitenraum. Damit ließe sich ein Wiedererkennen der Situation verhindern.

Empfohlen wird auch, die Interaktion zwischen Bepflanzungsart oder Streckencharakteristik und Anwesenheit/Abwesenheit von Gegenverkehr zu untersuchen. Für zukünftige Untersuchungen wäre eine kontrollierte Variation der Verkehrssituation opportun, um die Wirkung von Bepflanzungsvariationen in realen Fahrsituationen adäquat abschätzen und bewerten zu können. Hier bietet der Simulator eindeutige Vorteile, da bestimmte Verkehrssituationen in Abhängigkeit vom Fahrerverhalten reliabel generiert werden können.