

# Spurverhalten und Unfallgeschehen in Kurven

Peter Spacek, IVT – ETH Zürich

## 1. Einleitung

Bei der Erarbeitung geeigneter Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit geht die Theorie der Sicherheitsforschung im Verkehrsingenieurwesen davon aus, dass zwischen Verkehrs- und Unfallgeschehen auf Strassen Zusammenhänge bestehen. Deshalb kommt den Erhebungen des Fahrverhaltens und der Erforschung der Einflüsse auf das Unfallgeschehen eine grosse Bedeutung zu. Dies vor allem in Kurven, die auf Strassen ausserorts Unfallschwerpunkte darstellen. In Kurvenbereichen werden die Fahrvorgänge durch das Geschwindigkeitsverhalten angenähert. Die Geschwindigkeiten haben vor allem für den Entwurf der Linienführung von Strassen eine grundsätzliche Bedeutung.

Bei den erwähnten Zusammenhängen steht das sogenannte *Fehlverhalten* im Vordergrund. Darunter werden Verkehrsverstösse und andere, an die örtlichen oder zeitlichen Verhältnisse nicht angepasste Fahrweisen verstanden. Ergibt sich aus Erhebungen in einem Abschnitt der Strasse eine Häufung des Fehlverhaltens, so kann dies als Hinweis auf eine potentielle Gefährlichkeit des betrachteten Strassenbereiches gedeutet werden.

Wenn sich zudem aus der Unfallauswertung Hinweise ergeben, dass zwischen der Art der vorherrschenden Kollisionsvorgänge (Unfalltypen) und der Art des häufigen Fehlverhaltens auch örtlich Zusammenhänge bestehen, versucht man daraus geeignete Massnahmen abzuleiten. Oft führen solche Untersuchungen zu Anpassungen an der Strassenanlage (Sanierungsprojekte). Dieses stark vereinfachte Prinzip der verkehrstechnischen Unfallanalyse (in [1] bzw. [2]) führt nicht immer zum erwünschten Erfolg.

Eines der schwierigsten Probleme im Bereich von Kurven ist die Unterscheidung zwischen Fehlverhalten,

- die in bewusster, oft spekulativer Absicht – und unter erhöhter Risikobereitschaft – ausgeführt werden und solchen,
- die eher auf unbewusste bzw. unbeabsichtigte Handlungen oder auf mangelnde Informationen zurückgeführt werden können.

Denn nur bei Fehlverhalten der zweiten Gruppe darf angenommen werden, dass die Unsicherheiten in der Fahrweise zumindest indirekt durch die Anlage der Strasse entstehen bzw. dass das visuelle Erscheinungsbild des vorausliegenden Strassenraumes die Fahrer zum Fehlverhalten verleitet. Bei Erhebungen in Kurven, die sich nur auf das Geschwindigkeitsverhalten stützen, ist die erwähnte Unterscheidung kaum möglich. Dementsprechend scheitern oft die Versuche, welche die Zusammenhänge zwischen Fehlverhalten, Streckencharakteristik und Unfallgeschehen allein über die Geschwindigkeiten erklären wollen (z.B. in [3]).

Bei früheren Untersuchungen des IVT<sup>1)</sup> [4] wurden Bahn- bzw. Spurverläufe einzelner Fahrzeuge beim An- und Durchfahren von Kurven rekonstruiert. Die damaligen Erhebungen waren sehr zeitaufwendig. Die Analysen haben jedoch angedeutet, dass das Spurverhalten besser geeignet ist, die erwähnten Zusammenhänge zu erklären. Auf diesen Umstand wurde auch bei verkehrspsychologischen Untersuchungen in [5 bis 7] hingewiesen:

"Die optische Struktur des Strassenraumes ändert sich beim Übergang von der Geraden in die Krümmung. Unfallanalysen und Fahrversuche lassen vermuten, dass bei einigen Kurvenformen eine Lenkung parallel zur Strassenachse schwierig ist. Das führt vermutlich zu Unsicherheiten und Lenkkorrekturen, die ihrerseits wieder erhöhte Querbeschleunigungswerte zur Folge haben. Für die meisten Kurvenunfälle sind solche Fahrfehler und nicht allein die oft genannte "überhöhte Geschwindigkeit" die eigentlichen Unfallursachen."

---

<sup>1)</sup> Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau an der ETH Zürich

## 2. Forschungsansatz

Im Spurverhalten längs der Kurven lassen sich mindestens zwei Gruppen von Fahrverhalten unterscheiden:

- Das "Normalverhalten", bei dem der Spurverlauf der Fahrzeuge innerhalb eines bestimmten Schwankungsbereiches ungefähr der sogenannten Ideallinie in der Fahrstreifenmitte folgt, und
- das "Extremverhalten", bei dem die Spurverläufe von der Ideallinie stark abweichen.

Bei der zweiten Gruppe kann das Spurverhalten weiter unterteilt werden in Spurverläufe, die mehr oder weniger "bewusst" oder aber "unbewusst" ausgeführt werden. Einer der bekanntesten Typen des absichtlich ausgeführten Fehlverhaltens ist das sogenannte Kurvenschneiden, das vor allem in Kurven mit kleineren Richtungsänderungen auftritt.

Ein typischer, unbewusster Spurtyp, der auf Wahrnehmungsunsicherheiten hindeutet, ist der Spurverlauf, bei dem ein Fahrzeuglenker die Kurvenkrümmung unterschätzt und im weiteren Fahrtverlauf zwangsläufig eine mehr oder weniger abrupte Änderung des Lenkradeinschlages vornehmen muss (die Fehleinschätzung muss "korrigiert" werden). Die zugehörige Fahrspur weist in einem bestimmten Bereich der Kurve eine deutlich grössere Krümmung auf als der geometrische Kurvenradius. Dies bewirkt einen Anstieg der Querschleunigung und eine erhöhte Beanspruchung der radialen Komponente der Reibung an den Kontaktflächen zur Fahrbahn. Erfolgt diese Lenkkorrektur bei nicht angepasster Geschwindigkeit oder – was häufiger vorkommt – bei gleichzeitiger Bremsung, so kann das Fahrzeug in einen fahrdynamisch unstabilen Zustand geraten.

Dieser Typ des Spurverhaltens ist deshalb von Bedeutung, weil die in [4] gemachten Vergleiche mit örtlichen Unfalldiagrammen auf einen Zusammenhang zwischen Unfallstellen der Fahrunfälle (Schleuder-/Selbstunfälle, bzw. das Abkommen von der Strasse) und Kurvenbereichen, in welchen die erwähnten Lenkkorrekturen häufig auftreten, hindeuten. Aufgrund dieser Überlegungen wäre davon auszugehen, dass die Wahrscheinlichkeit der Entstehung von Fahrunfällen umso grösser ist,

- je häufiger die Spurverläufe des erwähnten Typs auftreten,
- je ausgeprägter sie sich auf bestimmte Bereiche der Kurve konzentrieren und
- je grössere Spurkrümmungen dabei befahren werden.

Zu diesem Zweck müsste eine geeignete *Typisierung von Spurverläufen* vorgenommen werden, und für jene Typen, die im Zusammenhang mit der Entstehung von typischen Kurvenunfällen stehen, wären dann eigentliche "Schwellenwerte" hinsichtlich Häufigkeit ihres Auftretens in Kurven festzulegen. Dies hätte eine wichtige praktische Bedeutung: Gelingt es die Zusammenhänge zwischen Fehlverhalten und Unfallgeschehen in Kurven quantitativ nachzuweisen, so müsste man sich bei der Erarbeitung von Sanierungsvorschlägen nicht wie bis anhin weitgehend nur auf die statistisch seltenen Unfallereignisse abstützen. Die Gefährlichkeit eines Kurvenbereiches könnte künftig aufgrund der erhobenen Struktur des Spurverhaltens beurteilt werden, und zwar bevor dort "genügend" Unfälle geschehen, um als Unfallschwerpunkt erkannt zu werden. Damit ergäbe sich die Möglichkeit, Massnahmen auch vorbeugend anzuordnen.

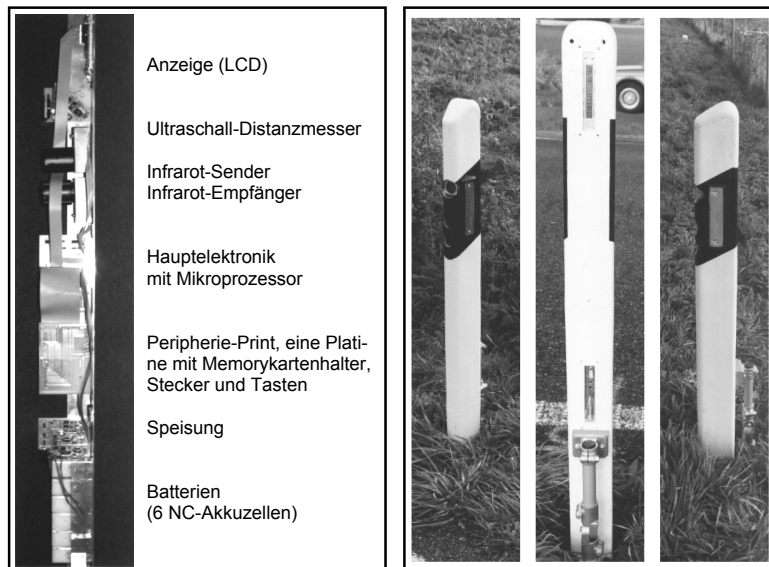
Diese Überlegungen führen zwangsläufig zur Frage, warum sich in einer bestimmten Kurve gewisse Spurtypen, vor allem jene, die im Zusammenhang mit Fahrunfällen stehen, häufen bzw. welche Einflüsse dazu führen, dass dies in einer Kurve mehr, in einer anderen Kurve weniger oder gar nicht der Fall ist? Die Klärung dieser Fragen würde zu einem weiteren Schritt, der eigentlichen Ursachenforschung führen. Hier steht die Erkundung des Zusammenhanges zwischen Spurverhalten und der optischen Führung in Kurvenbereichen im Vordergrund, also die Suche nach den massgebenden wahrnehmungsrelevanten Merkmalen des Strassenraumes. Dabei dürfen nicht nur die rein geometrischen Elemente des engeren Fahrraumes (die geometrische Linienführung) betrachtet werden, sondern es müssen auch die Wirkungen der übrigen optischen Führungshilfen im weiteren Strassenraum wie die Bepflanzung, Böschungsgestaltung, Höhenlage usw. einbezogen werden.

Aufgrund dieser Überlegungen wurde am IVT der ETH Zürich eine Forschungsarbeit [9] durchgeführt, über die nachfolgend berichtet wird.

### 3. Erhebungen

#### 3.1 Messeinrichtung und -auswertung

Die Voraussetzung für die Durchführung der vorliegenden Untersuchung bildete eine geeignete Messeinrichtung [8]. Sie besteht aus 12 autonomen Messeinheiten, die in gewöhnlichen Strassenleitpfosten eingebaut sind, sowie einem Steuergerät, mit dem die "Messpfosten" bedient werden. Die erfassten Daten werden je Messeinheit auf Speicherkarten abgelegt, die zur Auswertung im PC eingelesen werden. Die Bestandteile des Messpfostens sind aus Abbildung 1 ersichtlich. Die als Gehäuse der Messeinrichtung verwendeten Leitpfosten dienen zur Tarnung.



*Abbildung 1:  
Bestandteile des Messpfostens und  
verschiedene Ansichten des Mess-  
pfostens*

Die einzelnen Messpfosten erfassen folgende Größen:

- Durchfahrtszeiten der Fahrzeuge (in ms)
- Fahrtrichtung der Fahrzeuge (Hin-/Gegenverkehr)
- Fahrzeuglängen (in cm)
- Querabstände der durchfahrenden Fahrzeuge zum Messpfosten (in cm)

Die Ermittlung der Fahrzeuggeschwindigkeiten erfolgt bei der Auswertung der gemessenen Durchfahrtszeiten sowie der Abstände zwischen den einzelnen Messpfosten. Zur Fahrzeugdetektion dienen zwei Paare von Infrarot-Sender und -Empfänger, welche ununterbrochen die Fahrbahn überwachen, und ein Ultraschall-Distanzmesser, der auf dem Echolot-Prinzip basiert. Die Messgenauigkeit der Geschwindigkeiten ist vergleichbar mit jener der Induktionsschlaufen.

Für die notwendigen Auswertungen wurde ein umfangreiches EDV-Programmsystem erarbeitet, welches u.a. die Rekonstruktion der Spurverläufe einzelner Fahrzeuge und ihre Darstellung auf dem Hintergrund der tatsächlichen Kurvensituation ermöglicht. Die Software lässt sich in vier Hauptgruppen gliedern:

- Einlesen und Berechnung von Ausgangsdaten
- Nachbildung der Strassengeometrie
- Berechnungen und Darstellungen der Spur- und Geschwindigkeitsverläufe
- Statistische Berechnungen

Eine ausführliche Beschreibung der Hard-, Firm- und Software ist in [8 und 9] enthalten.

Bei den Berechnungen werden die Fahrzeuge zuerst zwischen einzelnen Paaren von Messpfosten korreliert und anschliessend – getrennt nach Hin- und Gegenverkehr – über alle Messpfosten verfolgt. Die Ergebnisse der Fahrzeugverfolgung werden in einer "Verfolgungstabelle" dargestellt. Die darin enthaltenen Ausgangsdaten (Fahrzeugquerabstände an und Geschwindigkeiten zwischen den Messpfosten) bilden die wichtigste Grundlage für die Modellierung der Geschwindigkeits- und Spurverläufe. Ausgehend aus der Verfolgungstabelle werden in einem Teilprogramm die Spurverläufe der einzelnen Fahrzeuge gerechnet. Dabei bilden die Querabstände aus den Distanzmessungen an den einzelnen Messpfosten die Stützpunkte. Der Spurverlauf zwischen den Messpfosten wird durch eine Spline-Interpolation dritten Grades bestimmt.

Die Berechnung erfolgt nicht bzgl. der bei der Messung erfassten Fahrzeugränder (gemessen wird ja die Distanz Messpfosten - zugewandter Fahrzeugrand), sondern bzgl. idealisierter Fahrzeugachse. In der vorliegenden Programmversion wird dabei von einer mittleren Fahrzeugbreite von 1.80 m ausgegangen. Für die Spline-Interpolation wird als Einschränkung lediglich vorgegeben, dass die Fahrzeuge die Fahrbahn nicht verlassen dürfen. Deshalb wurde bewusst eine kubische Spline-Funktion gewählt. Damit lassen sich die bei höhergradigen Funktionen auftretenden Aufschaukelungseffekte minimieren.

Abbildung 2 zeigt ein Beispiel der rekonstruierten Spurverläufe. Links ist die maßstäbliche Darstellung einer Linkskurve mit Verbreiterung im Kreisbogen ( $R=79\text{ m}$ ) und mit eingezeichneten Standorten der Messpfosten sowie den Kurvenhauptpunkten. Rechts ist die gleiche Kurve dargestellt, zur besseren Betrachtung der Spurverläufe ist jedoch die Darstellung in der Breite 5-fach gestreckt.

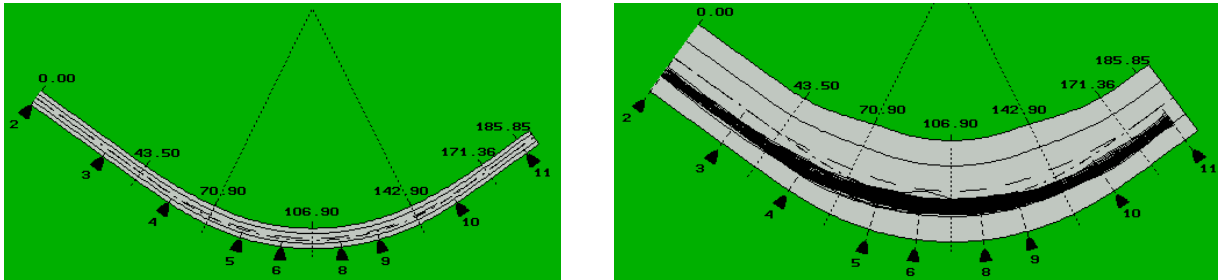


Abbildung 2: Beispiel einer Kurvendarstellung mit rekonstruierten Spurverläufen

Im Berechnungsprogramm werden auch, aufgrund des Geschwindigkeits- und Krümmungsverlaufs der Spuren sowie des Quergefällesverlaufs für jedes Fahrzeug die spürbaren Querschleunigungen durchgehend gerechnet. Die Kurvenorte mit den höchsten Werten lassen sich je Fahrzeug in der Situation und in einer Tabelle anzeigen.

### 3.2 Spurtypisierung

Im Vordergrund der vorliegenden Untersuchung stand eine geeignete Spurtypisierung, die auch programmtechnisch umgesetzt werden musste. In Anlehnung an [4] und aufgrund von Testmessungen wurden folgende sechs Spurtypen definiert:

*Idealverhalten (I-Typ)* entspricht einem symmetrischen Spurverlauf in einem engen Bereich entlang der Fahrstreifenmitte. Ein solcher idealisierter Spurverlauf wird in den Projektierungsnormen angenommen.

*Normalverhalten (N-Typ)* weist ebenfalls einen symmetrischen Spurverlauf entlang der Fahrstreifenmitte auf, jedoch in einem etwas breiteren Bereich als beim Idealverhalten und mit leichtem Einschneiden zur Kurveninnenseite, ohne dass die Fahrzeuge die Mittellinie berühren.

*Korrigieren (K-Typ)*: S-förmiger Spurverlauf mit zunehmendem Hinaustragen zur Kurvenausseite und anschließender Lenkeinschlagskorrektur in der zweiten Kurvenhälfte. In der Regel handelt es sich um unbewusste Fahrvorgänge, infolge Unterschätzung der Kurvenkrümmung oder/und der Kurvenlänge.

*Schneiden (S-Typ)*: Spurverlauf mit starkem Einschneiden zur Kurveninnenseite im Bereich des Kreisbogens (bewusster Fahrvorgang zur Kompensierung der Querschleunigung).

*Ausholen (A-Typ)*: Asymmetrischer Spurverlauf zwischen Beginn und Ende der Kurve mit ausgeprägtem Rechtsfahren zu Beginn der Kurve und zunehmendem Einschneiden nach links bis zum Kurvenende (bei Linkskurven, analog bei Rechtskurven).

*Hinaustragen (H-Typ)*: Asymmetrischer Spurverlauf zwischen Beginn und Ende der Kurve mit ausgeprägtem Linksfahren zu Beginn der Kurve und zunehmendem Hinaustragen nach rechts bis zum Kurvenende (bei Linkskurven, analog bei Rechtskurven).

Spurverläufe, die keinem der definierten Typen zugeordnet werden können, werden in einer Gruppe zusammengefasst und als "übrige" bezeichnet.

Die prinzipiellen Verläufe der genannten Spurtypen sind in Abbildung 3 am Beispiel von Linkskurven veranschaulicht. Die Skizzen enthalten die jeweiligen Kurvenhauptpunkte sowie die angrenzenden Geraden (G).

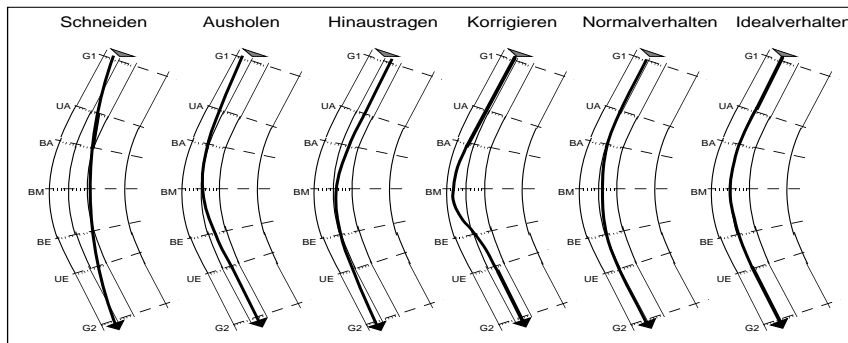


Abbildung 3: Prinzipskizzen der Spurtypen, am Beispiel von Linkskurven

Für die Zuordnung der einzelnen Spurverläufe zu einem der genannten Spurtypen mussten entsprechende Typisierungskriterien im Programm festgelegt werden. Als geeignet erwies sich dabei der Bezug auf die Breite des Fahrstreifens (BFS) in den Querschnitten der Kurvenhauptpunkte und der Abgrenzungspunkte der beiden Geraden. In diesen Punkten werden die Typisierungskriterien im Programm abgefragt. Dabei wird je Querschnitt ein Bereich vorgegeben, innerhalb dessen die Achse des vorbeifahrenden Fahrzeuges (FZA) auftreten soll. Ein Spurverlauf wird einem bestimmten Spurtyp nur dann zugeordnet, wenn die betrachtete Spur in allen 7 Querschnitten die vorgegebenen Bereiche durchquert hat. In Abbildung 4 ist dies am Beispiel des Spurtyps "Schneiden" veranschaulicht.

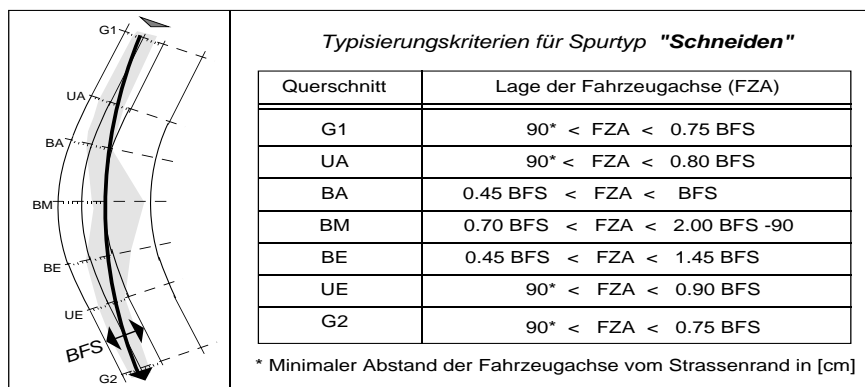


Abbildung 4: Beispiel der Typisierungskriterien für Spurtyp "Schneiden" in Linkskurven

### 3.3 Messdurchführung

Für die vorliegende Untersuchung wurden Messungen in sieben Kurvenbereichen auf Strassen ausserhalb bebauter Gebiete durchgeführt. Ausgewählt wurden Kurven mit Radien zwischen 65 m und 220 m, in einem Bereich also mit Projektierungsgeschwindigkeiten ( $v_p$ ) kleiner als die generelle Tempolimite ausserorts (80 km/h). Bei der Auswahl wurde u.a. darauf geachtet, dass sich die Kurven bezüglich Geometrie und vor allem bezüglich Sichtverhältnisse unterscheiden. Die Winkel der Richtungsänderung lagen zwischen ca. 48 und 146 gon.

Bei der Anordnung der Messpfosten im Kurvenbereich wurde darauf geachtet, dass sowohl die Geschwindigkeiten als auch die Querabstände der Fahrzeuge im Bereich der fünf Kurvenhauptpunkte möglichst gut erfasst werden. In der Regel wurden jeweils zwei Messpfosten in gleichem Abstand vor und nach einem Hauptpunkt aufgestellt. Bei kleineren Kurvenlängen wurden entsprechend weniger Messpfosten benötigt, weil der jeweils zweite Messpfosten eines Hauptpunktes gleichzeitig als erster Messpfosten des

nachfolgenden Hauptpunktes diente. Die Messpfosten wurden jeweils auf der bezüglich Messrichtung zugewandten Strassenseite im Bankettbereich aufgestellt (Hinverkehr).

Für die Durchführung der Messungen mussten im Feld zunächst die Kurvenhauptpunkte aufgrund der Planunterlagen und der draussen vorhandenen Fixpunkte abgesteckt werden. Anschliessend wurden dort die Fahrstreifenbreiten und das Quergefälle ermittelt. Die Abstände zwischen den Messpfosten und ihre Entfernungen von den Kurvenhauptpunkten wurden am zugewandten Fahrbahnrand gemessen und zusammen mit den aufgenommenen Querabständen zwischen Messpfosten und Fahrbahnrand in einem Protokoll festgehalten. Die im Kurvenbereich vorhandenen Leitpfosten wurden für die Messdauer so entfernt, dass keine auffällige Massierung der Leiteinrichtungen auftrat (vgl. Beispiel in Abbildung 5). Nach der Inbetriebnahme der Messpfosten hat sich die Messequipe aus dem Kurvenbereich entfernt.



Abbildung 5:  
Beispiel einer Kurve mit Messpfosteneinsatz  
(auf der Kurvenaussenseite)

Die Messungen erfolgten am Tag ausserhalb der Morgen- und Abendspitze; in zwei Kurven wurde zusätzlich auch bei Dunkelheit gemessen. Insgesamt standen somit 9 Datensätze zur Verfügung. In die Auswertungen wurden alle erfassten Fahrzeuge – ohne Unterscheidung nach der Frontzeitlücke zum vorausfahrenden Fahrzeug – einbezogen. Die Stichprobe betrug ca. 1880 Fahrzeuge in einer Fahrtrichtung (= Hinverkehr in der Messrichtung), bzw. durchschnittlich 206 verfolgte Fahrzeuge pro Messung.

## 4. Ergebnisse

Nachfolgend sind ausgewählte Erkenntnisse aus [9] zusammengestellt:

- Die Fahrzeuglenker fahren in Kurvenbereichen grundsätzlich in einem deutlich *grösseren Abstand zum Strassenrand als zur Mittellinie* und zwar sowohl in Links- als auch in Rechtskurven und weitgehend unabhängig von der Fahrbahnbreite. Die Spuren, welche die Verläufe der Fahrzeugachsen darstellen, befinden sich fast durchwegs in der linken Hälfte der Fahrstreifen (vgl. Beispiel in Abbildung 2).
- Die Bahnkurven setzten sich aus einer Folge von Krümmungssprüngen zusammen. Dadurch treten *lokal hohe Querbearbeitungen* auf. Sie sind primär eine Folge der durch die Fahrzeuglenker vorgenommenen *Lenkkorrekturen*. In Kurven mit kleinen und mittleren Radien ( $R < \text{ca. } 120 \text{ m}$ ) sind die lokalen Querbearbeitungen oft mehr als zweimal grösser als jene bei einem "normgemässen" Fahrverhalten.
- Die Untersuchung hat bestätigt, dass in Kurven verschiedene Muster von Spurverläufen vorhanden sind und dass die *Häufigkeit der einzelnen Spurtypen* von Kurve zu Kurve zum Teil sehr *unterschiedlich* ist. Der Anteil der "unerwünschten" Spurtypen (Typen K, S, A und H) betrug in den untersuchten Kurven durchschnittlich 37%, der grösste Teil davon war der Typ S.
- Zwischen *Spurtypenhäufigkeit und Kurvengeometrie* konnten nur tendenzielle Zusammenhänge festgestellt werden, wobei sie beim Verhältnis Klothoidenparameter/Kurvenradius, bei der Kreisbogenlänge und bei den Fahrstreifenbreiten am deutlichsten waren. Beispielsweise hat sich gezeigt, dass der

Anteil von "gewünschten" Spurtypen (Typen I und N) beim A/R-Verhältnis von ca. 1/3 bis 1/2 am höchsten ist. Umgekehrt ist der Anteil von "unerwünschten" Spurtypen (Typen K, S, A und H) beim Verhältnis von ca. 0.8 am grössten (Abbildung 6).

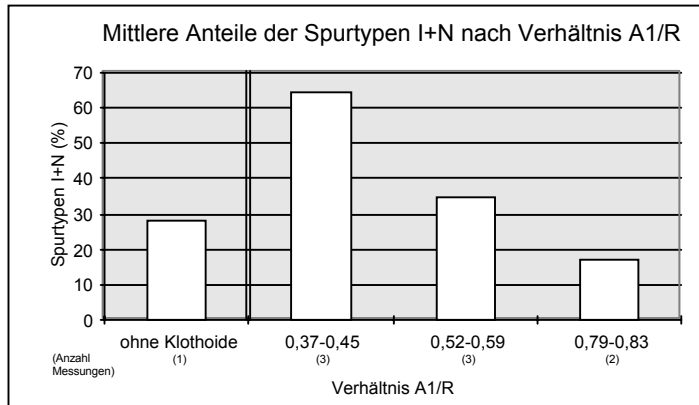


Abbildung 6: Anteile der Spurtypen Ideal- und Normalverhalten nach Verhältnis A/R

- Die **höchsten Geschwindigkeiten** im Kurvenbereich weisen die Spurtypen S (in Linkskurven) und A (in Rechtskurven) auf. Obwohl bei Spurverläufen dieser Art angenommen wird, sie würden ausgeführt, um die Querschleunigung während der Kurvenfahrt zu kompensieren, haben die Auswertungen gezeigt, dass bei diesen Spurtypen im Mittel die grössten lokalen Querschleunigungen auftreten. Die ermittelten Werte deuten darauf hin, dass bei diesem Spurtyp die oft nur geringfügige Geschwindigkeitsanpassung in der Kurve durch eine Überschätzung der Wirkung des durch das Schneiden vergrösserten Spurradius mehr als kompensiert wird.

Bei den Typen S und A haben sich auch verschiedene Muster gezeigt, die je nach Krümmungsrichtung und Radius mehr oder weniger häufig und ausgeprägt sind (vgl. Beispiele in Abbildung 7).

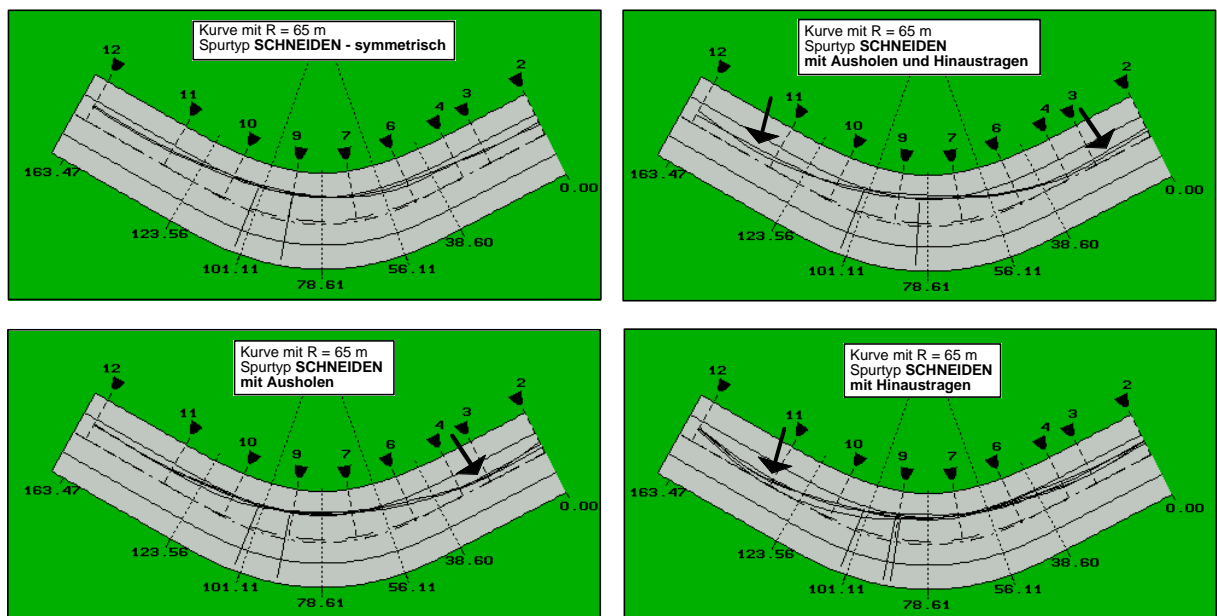


Abbildung 7: Beispiele von Fahrmustern des Spurtyps Schneiden in einer Rechtskurve mit R = 65 m

Relativ häufig waren auch Vorgänge, bei welchen das "Schneiden" oder "Ausholen" abgebrochen wurde (vgl. Beispiel in Abbildung 8), sei es weil Fahrzeuge aus der Gegenrichtung auftraten oder weil die Kurvenlänge falsch eingeschätzt wurde. In der Folge muss eine grössere Krümmung befahren werden. Diese Spurverläufe sind insofern gefährlich, als im Anschluss an die "Ausweichmanöver" hohe Querschleunigungen auftreten. Nicht zu unterschätzen ist auch die Überraschungswirkung, handelt es sich doch bei diesen Typen in der Regel um bewusste, im voraus eingeplante Fahrvorgänge.

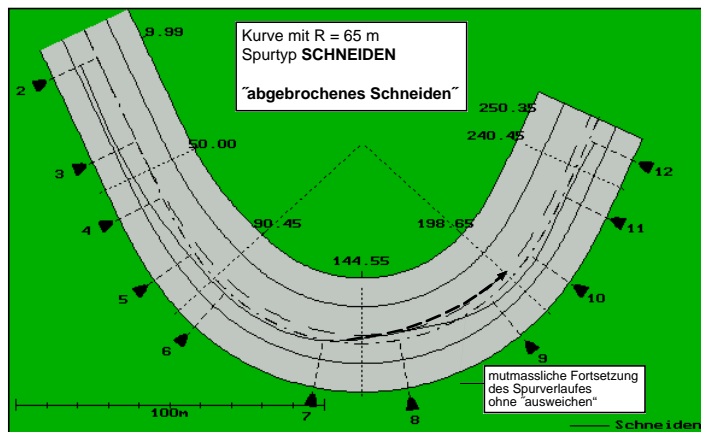


Abbildung 8:  
Beispiel des abgebrochenen Schneidens in einer Linkskurve mit R = 65 m

- Die lokal grössten Spurkrümmungen ergaben sich beim Spurtyp K ("Korrigieren"), wobei sie – ähnlich wie bei anderen Spurtypen – in den allermeisten Fällen mit jenen Orten zusammenfallen, in welchen auch die grössten Querschleunigungen ermittelt wurden. Hier muss gefolgert werden, dass die Ursache der erhöhten Querschleunigungen hauptsächlich in den örtlich grossen Spurkrümmungen liegt. Beim Spurtyp "Korrigieren" lagen zudem die Querschleunigungswerte bei Nacht wesentlich höher als am Tag. Die lokal grössten Querschleunigungen treten in der Regel in der zweiten Kurvenhälfte auf, bei den Spurtypen "Ausholen" und "Normalverhalten" in Linkskurven auch in der ersten Kreisbogenhälfte.
- Die Auswertungen haben trotz beschränkter Stichprobengrösse gezeigt, dass zwischen *Unfallhäufigkeit und Häufigkeit von Spurtypen* Zusammenhänge bestehen. Am deutlichsten nimmt die Häufigkeit der Selbst-/Schleuderunfälle mit zunehmendem Anteil des Typs "Korrigieren" zu. Bei grösserem Anteil an "unerwünschten" Spurtypen (Korrigieren, Schneiden, Ausholen und Hinaustragen) ist auch eine höhere Zahl von Unfällen zu erwarten (Abbildung 9).

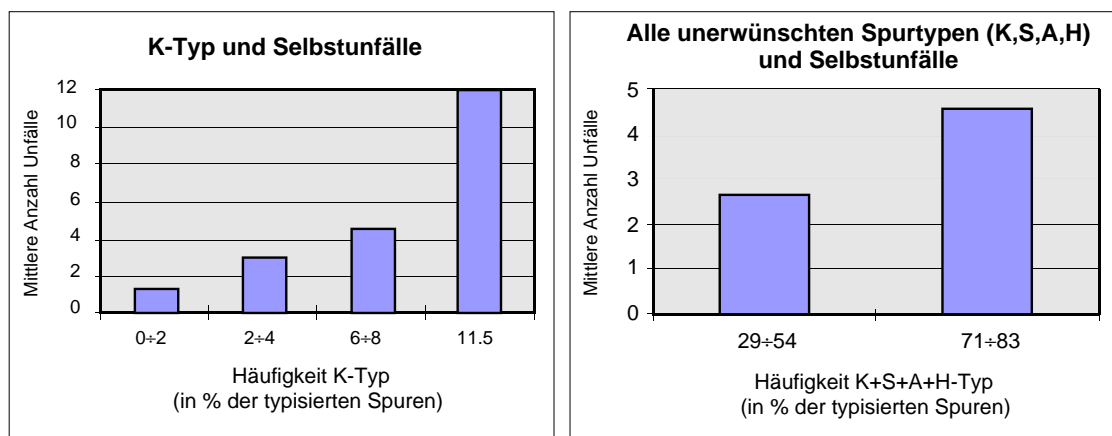


Abbildung 9: Spurtypenhäufigkeit und Anzahl von Selbstunfällen in Kurven

- Am Beispiel einer Kurve mit erhöhter Unfallhäufigkeit konnte nachgewiesen werden, dass auch zwischen *Unfallorten und Spurverhalten* offensichtliche Abhängigkeiten bestehen. In dieser Kurve wurde in einer Fahrtrichtung (Rechtskurve) ein auffällig hoher Anteil des Spurtyps "Korrigieren" festgestellt.

Diese Spurverläufe sind in Abbildung 10-oben dargestellt. Darin sind mit Querstrichen die Orte bezeichnet, in welchen die grössten lokalen Querschleunigungen ( $maxQ_{spur}$ ) auftraten. Aufgrund einer Auswertung konnten für die Datengruppen "alle Fahrzeuge" und "nur Spurtyp K" aus der betreffenden Fahrtrichtung jene Kurvenbereiche festgelegt werden, in denen die  $maxQ_{spur}$  am häufigsten auftreten. Sie sind in Abbildung 10-unten in die Kurvensituation eingetragen, mit Angabe des jeweiligen %-Anteiles. Diese Darstellung enthält zudem die ungefähren Kollisionsorte der aus dieser Richtung entstandenen 8 Selbstunfälle gemäss den Angaben in den Unfallprotokollen. Die Kollisionsorte liessen sich im vorliegenden Fall relativ gut rekonstruieren, weil in den polizeilichen Unterlagen räumliche Bezüge auf nummerierte Beleuchtungsmasten entlang der Strasse enthalten sind.



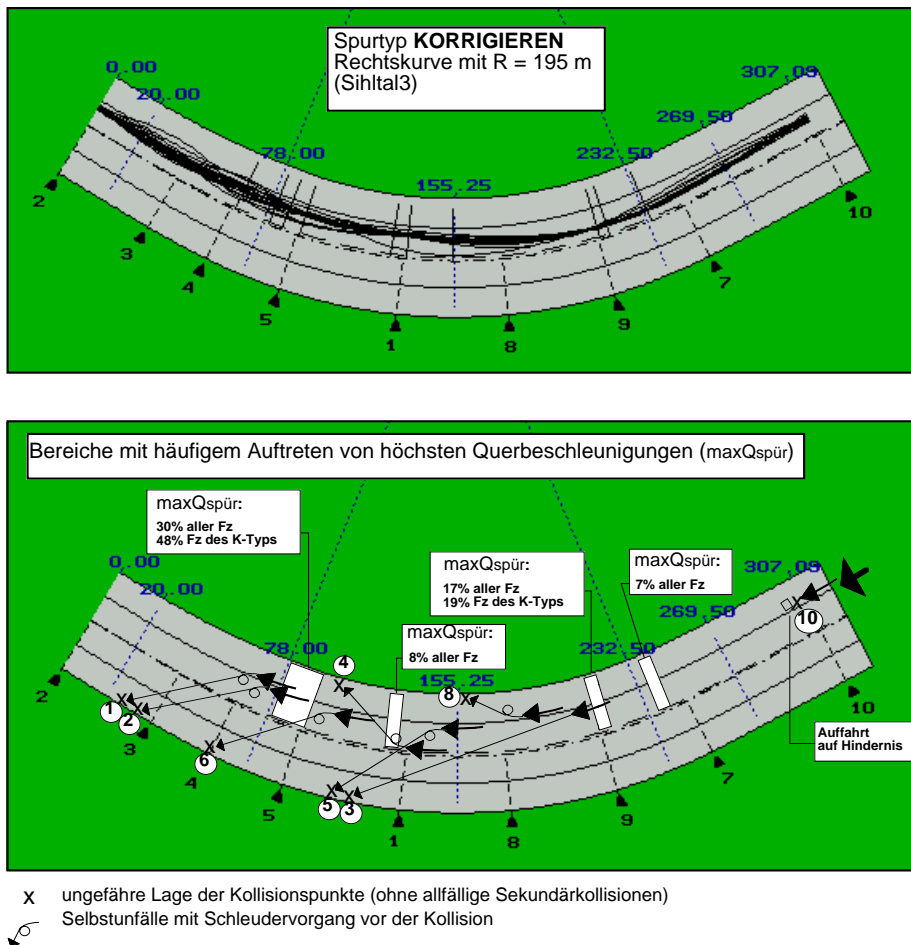


Abbildung 10:  
Spurverläufe des Typs K (oben), Kollisionsorte der Selbstunfälle und Bereiche mit Konzentration von höchsten Querbeschleunigungen (unten) in einer Rechtskurve mit  $R = 195\text{ m}$

Wie aus Abbildung 10 ersichtlich, befinden sich die meisten Kollisionspunkte der Selbstunfälle in der Fortsetzung jener Kurvenbereiche, in welchen sich das Auftreten von höchsten Querbeschleunigungen einzelner Spurverläufe konzentriert. Diese Zusammenhänge sind beim Spurtyp "Korrigieren" am ausgeprägtesten (Kollisionspunkte Nr. 1, 2, und 6 / Bereich mit 48% aller K-Typen und Nr. 3, 5 und 8 / 19% aller K-Typen).

## 5. Zusammenfassung und Empfehlungen

Die Ergebnisse hinsichtlich der Zusammenhänge Unfallgeschehen / Spurverhalten stimmen zuversichtlich. Sie zeigen, dass dem Spurverhalten als eine der Beschreibungsgrößen des Fahrverhaltens in Kurven eine grössere Bedeutung als bisher zukommt. Dies spricht dafür, weitere Erhebungen des Spurverhaltens durchzuführen.

Von besonderer Bedeutung ist die hier gewonnene Erkenntnis, dass die Ursache der in Kurven häufigen Selbst- / Schleuderunfälle nicht allein auf überhöhte Geschwindigkeiten zurückgeführt werden kann. Für die lokal erhöhten Querbeschleunigungen und Überbeanspruchungen der Reibungswiderstände zwischen Rad- und Fahrbahnoberfläche sind primär die bei bestimmten Spurtypen durch die Fahrzeuglenker vorgenommenen Lenkkorrekturen verantwortlich. Ähnliche Vermutungen wurden schon zu Beginn der 80-er Jahre aufgrund von verkehrspsychologischen Untersuchungen geäußert.

Auch im Hinblick auf die allfälligen Normungsempfehlungen müsste die Stichprobenbasis vergrößert werden. Angesichts der Vielzahl möglicher Einflüsse der näheren Strassenumgebung auf das Fahrverhalten dürfen jedoch die Wirkungen der rein geometrischen Größen nicht überbewertet werden. Dafür spricht auch der Umstand, dass in der vorliegenden Untersuchung insgesamt nur wenige und zum Teil undeutliche Zusammenhänge zwischen Spurverhalten und Kurvengeometrie festgestellt werden konnten.

Zur Festlegung von Schwellenwerten für die Häufigkeit des Fehlverhaltens ("unerwünschte" Spurtypen), bei deren Überschreitung eine erhöhte Gefährdung im Kurvenbereich zu erwarten ist, muss die Stabilität der Messergebnisse verbessert werden. Es wird deshalb empfohlen:

- Die Stichprobengrösse der Untersuchungskurven ist generell zu erhöhen. Bei der Zusammenstellung der vergrösserten Stichprobe sind auch Kurven mit kleineren Richtungswinkeln ( $< \text{ca. } 45 \text{ gon}$ ) miteinzubeziehen. Zudem sollten etwa zu gleichen Teilen Kurven mit sehr niedrigem und sehr hohem Unfallniveau berücksichtigt werden.
- Zur Verbesserung der Stabilität der Messergebnisse (Schwankungen in der Häufigkeit der Spurtypen) sind an ausgewählten Kurven länger andauernde Messungen sowie deren Wiederholung an verschiedenen Wochentagen und Jahreszeitperioden bei jeweils gleicher Messanordnung durchzuführen.
- In [9] haben sich auch verschiedene Unzulänglichkeiten der vorgenommenen Spurtypisierung gezeigt. Entsprechende Anpassungen sind deshalb vorgesehen.

Die vorliegende Untersuchung hat die Bedeutung der Erhebungen des Spurverhaltens aufgezeigt, vor allem als ein Mittel zur frühzeitigen Erkennung potentieller Gefahren in Kurven. Die Sicherheit eines Kurvenbereiches könnte künftig aufgrund der erhobenen Struktur des Spurverhaltens beurteilt werden. Wenn sich dieser Vorteil aufgrund der erweiterten Erhebungen bestätigt und sich daraus konkrete Schwellenwerte für die Häufigkeit bestimmter Spurtypen angeben lassen, so könnten in einer weiteren Forschungsphase die Zusammenhänge zwischen Spurverhalten und optischer Führung in Kurvenbereichen untersucht werden. Die Erkenntnisse über die sicherheitsorientierte Gestaltung des Strassenraumes in Kurven wären dann auch in den Projektierungsnormen umzusetzen.

## Schriftum

- [1] K. Dietrich, I. Belopitov: "Sicherheit von Verkehrsanlagen", Vorlesungsunterlage, IVT-ETH Zürich, Mai 1995
- [2] VSS-Norm SN 641 310a "Analyse der Strassenverkehrsunfälle"
- [3] B. Kraus, K.-H. Trapp: "Analyse und Beseitigung von Unfallstellen im ausserörtlichen Strassennetz", Bericht zum Forschungsprojekt 8319, Bundesanstalt für Strassenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach, Januar 1987
- [4] Arbeitsgruppe Verkehrssicherheit: "Verkehrssicherheit nachts; Verkehrstechnische Verbesserungen an der Strassenanlage", EJPD Bern, Februar 1980
- [5] C. Friedinger: "Die situative Geschwindigkeit, ein Masstab zur Beurteilung von Kurven", IVT Bericht Nr. 84/6, IVT-ETH Zürich, Dezember 1984
- [6] C. Friedinger: "Informationsaufnahme und Fahrverhalten", Strasse und Verkehr Nr. 10/1982
- [7] C. Friedinger: "Information und Verhalten des Autofahrers beim Durchfahren von Kurven", Dissertation, ETH Zürich, 1980
- [8] U. Scheifele, P. Spacek: "Messpfosten; Eine Messeinrichtung für Erhebungen des Fahrverhaltens auf Strassen", IVT-ETH Zürich und Planitronic Zürich, Unterstützt durch den Fonds für Verkehrssicherheit, Dezember 1992
- [9] P. Spacek: "Fahrverhalten und Unfallgeschehen in Kurven, Fahrverhalten in Kurvenbereichen", EVED-Forschungsauftrag Nr. 16/84, IVT-ETH Zürich, Juni 1998