

Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeit bei Fußgängerunfällen

Prof. Dr.-Ing. Pavel Pustina, SV-Büro Dr.Pustina, Troisdorf, BRD

Prof. Ing. Albert Bradac, DrSc. USI TU Brno, Tschechische Republik

Dipl.-Inform. Lukas Pustina, Universität Bonn, BRD

Die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs bei Zusammenstößen mit Fußgängern ist einer der wichtigsten Parameter bei Fußgängerunfällen. Von ihm ist insbesondere die Vermeidbarkeit des Unfalles für den Fahrzeugführer abhängig. Zur Bestimmung halfen früher die Bremsblockierspuren des Fahrzeugs, die Berechnungen der Kollisionsgeschwindigkeit erlaubten. Mit Einführung des Anti-Blockiersystems sind aber diese Spuren nicht mehr bzw. nur sehr selten zu finden. Es werden die Ergebnisse eines wissenschaftlichen Projekts vorgestellt, das sich mit der Frage beschäftigte, ob die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs anhand seiner Beschädigungen ermittelbar ist. Grundlage für die Arbeit waren Unfälle, bei denen die Möglichkeit bestand die Spurensicherung direkt an der Unfallstelle in Zusammenarbeit mit der Polizei durchzuführen. Die Auswertung der gewonnenen Unterlagen und die Ergebnisse der Arbeit werden im Folgenden dargestellt.

1. Einleitung

Fußgängerunfälle stellen bei der Unfallrekonstruktion eine spezifische Problematik dar, weil nur selten die erforderlichen Ausgangswerte für die Unfallanalyse in ausreichender Qualität und Quantität vorliegen.

Während bei Fahrzeugkollisionen Anhaltspunkte und Spuren vorhanden sind, stehen dem Unfallanalytiker bei einem Fußgängerunfall nur minimale (und sehr oft überhaupt keine) nutzbaren Spuren zur Verfügung.

Bis zum Ende der 80er Jahre konnten bei Fußgängerunfällen an der Unfallstelle Bremsblockierspuren der Fahrzeuge gefunden werden, die dann als entscheidende Hilfe bei der Rekonstruktion gedient haben. Es war möglich, nicht nur die Geschwindigkeit anhand der Spurzeichnungen zu berechnen, sondern auch den Reaktionszeitpunkt und nach der Form der Spu-

ren eventuell auch die Lage der Kollisionsstelle auf der Fahrbahn zu bestimmen.

Nach Einführung und Verbreitung der elektronischen ABS-Systeme, die in den 90er Jahren stark zugenommen und auch in kleineren Fahrzeugen Anwendung gefunden haben, sind Bremsblockierspuren an der Unfallstelle immer seltener geworden. Es kann gesagt werden, dass der wichtigste Anhaltspunkt für die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen mit Fußgängern verloren gegangen ist.

In den weiteren Kapiteln wird der aktuelle Stand beschrieben (Kapitel 2) und die Ergebnisse des Projektes (Kapitel 3), das sich mit der Möglichkeit beschäftigt, die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs anhand dessen Beschädigungen einzugrenzen, vorgestellt. Am Ende wird in Kapitel 4 eine Bewertung der Methode abgegeben und mit einer Zusammenfassung abgeschlossen.

2. Aktueller Stand

Üblicherweise sind nach einem Fußgängerunfall die Endlage des Fußgängers oder die Stillstandsposition des Fahrzeugs bekannt. Es kann auch anhand der Örtlichkeit der Bereich, wo sich der Fußgänger auf der Fahrbahn bewegte – wenn auch toleranzbehaftet – eingegrenzt werden. Aufgrund dieser Ausgangsinformation und der bekannten Diagramme, die die Abhängigkeiten der Kollisionsgeschwindigkeit von verschiedenen Parametern beschreiben, lassen sich die Grenzen der Kollisionsgeschwindigkeit ermitteln.

Hier ist insbesondere neben den Wurfweiten des Fußgängers in Längs- und Querrichtung auf die Lage der Spritfelder auf der Fahrbahn, die Kontaktstellen des Fußgängers mit dem Fahrzeug (Aufwurfweite, Abwicklung, Beulenversatz) und andere durch Versuche ermittelte Abhängigkeiten hinzuweisen [1], [2].

Eine Kombination der erwähnten Korrelationen führt zum Schrankenverfahren [3], das die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs und die

Lage der Kollisionsstelle auf der Fahrbahn eingrenzen läßt.

Man darf auch nicht die Möglichkeiten des Weg-Zeit-Diagrammes außer Acht lassen, wo die bekannte Stillstandsposition des Fahrzeugs Schlüsse über den Reaktionszeitpunkt und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs aus dem Anhalteweg zulässt.

Es sind Studien bekannt [4] [5], die die Abhängigkeiten zwischen der Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs und der quantitativen Betrachtung der Verletzungen des Fußgängers mit Hilfe einer Methode gezeigt haben, die mit Hilfe eines Punktesystems die Kollisionsgeschwindigkeiten des Fahrzeugs eingrenzen lässt. Die Kollisionsgeschwindigkeit ist auf diese Weise jedoch nur in einem breiten Intervall feststellbar, so dass die Methode nur bedingt anwendbar ist.

Die angesprochenen Möglichkeiten zur Rekonstruktion von Fußgängerunfällen sind allgemein bekannt. Genauso wie die Ungenauigkeiten und Grenzen der Applikationen.

Eine große Hilfe ist die Implementierung des mathematischen Mehrkörper-Modells in das Simulationsprogramm „PC Crash“ [6] in der zweiten Hälfte der 90er Jahre. Aber auch bei Anwendung des Programms sind nicht immer alle Probleme lösbar und alle Fragen zu beantworten.

3. Methode der Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeit anhand der Beschädigungen des Fahrzeugs

Bei einem Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger sind immer die Beschädigungen des Fahrzeugs bekannt. Es wurde eine Möglichkeit gesucht, dies zur Bestimmung der Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs zu nutzen. Dazu war es erforderlich, die Deformationsenergie des an dem Unfall beteiligten Fahrzeugs durch Vergleich mit bekannten Fahrzeugdeformationen (Referenzfahrzeugen) zu quantifizieren. Die Kollisionsgeschwindigkeit lässt sich dann unter Berücksichtigung der Körpermaße des Fußgängers berechnen. In diesem Kapitel wird eine Methode beschrieben, die im Sachverständigenbüro Prof. Dr. Pustina mit Unterstützung des Institutes für Gerichtsingenieurwesen der Universität Brunn ausgearbeitet wurde, mit der sich die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs bei Fußgängerunfällen anhand der Beschädigungen des Fahrzeugs und bekannter Parameter des Fußgängers ermitteln lässt. Diese Parameter sind u.a. Größe und Masse des Fußgängers.

Es wurde festgestellt, dass die durch die Kollision verbrauchte Energie bei dem Fußgängerun-

fall anhand der bekannten, zur Verfügung stehenden EES-Kataloge, die bei Kollisionen von Fahrzeugen hilfreich sind, nicht eingegrenzt werden kann. Dies liegt insbesondere an den Eigenschaften des menschlichen Körpers. Die Form der Deformationen ist nicht vergleichbar.

Für die hier vorgestellte Methode wurde von 338 Fällen ausgegangen, die direkt nach dem Unfallereignis einschließlich der Unfallaufnahme vom SV-Büro Prof. Dr. Pustina bearbeitet wurden. Diese wurden katalogisiert und ausgewertet.

Bereits die erste Datenauswertung hatte interessante statistische Werte geliefert. Es konnte festgestellt werden, dass an den Unfällen am häufigsten Jugendliche in einem Alter zwischen 11 und 20 Jahren beteiligt waren. Die Häufigkeit sinkt dann bis zur Kategorie der 51–60-Jährigen, wobei dann wieder ein Anstieg zu verzeichnen ist. Bei den 80–90-Jährigen ist die Häufigkeit wieder relativ hoch. An den Unfällen waren mehr als zweimal so viele Männer wie Frauen beteiligt. Überwiegend ist es zu den Unfällen bei Geschwindigkeiten der Fahrzeuge zwischen 50–60 km/h gekommen, was sicherlich auch eine Folge der Tatsache ist, dass die Unfälle überwiegend innerorts passierten. Es waren weniger LKWs als Pkws an den Unfällen beteiligt. Interessant ist auch die Größe der Fahrzeuge. Es hatte sich gezeigt, dass bei 72% aller Unfälle Fahrzeuge mit einem Leergewicht zwischen 800 und 1.100 kg beteiligt waren. Diese Tendenz zu kleineren Fahrzeugen ist sicherlich bemerkenswert.

Die statistische Erhebung ist sicherlich nicht repräsentativ. Die Auswahl – wie bereits erwähnt – war von den bearbeiteten Fällen abhängig.

Es hat sich gezeigt, dass nicht alle Fälle zu weiteren Auswertungen geeignet waren. Aus der oben genannten Zahl sind am Ende 54 Fälle geblieben, die zur weiteren Bearbeitung geeignet waren.

Bei der Bestimmung der Deformationsenergie, aus der dann die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs resultiert, wurde davon ausgegangen, dass die Geschwindigkeit des Fahrzeugs und des Fußgängers am Ende der Kompressionsphase gleich ist und dass die Bewegungsgeschwindigkeit des Fußgängers vor der Kollision vernachlässigbar ist. (Dazu eine Bemerkung: Die Bewegungsgeschwindigkeit des Fußgängers konnte vernachlässigt werden, weil sie wesentlich kleiner ist, als die des Fahrzeugs und da der Fußgänger sich in die Kollisionsposition überwiegend schräg bzw. senkrecht zur Fahrtrichtung des Fahrzeugs bewegt.)

In die Berechnung gehen dann die Deformationsenergie und die relative Masse der Unfallbe-

teiligten ein. Die Parameter sind bekannt bzw. unproblematisch feststellbar.

3.1 Beispiele

Im Folgenden werden zwei Anwendungsbeispiele der beschriebenen Methode gezeigt.

3.1.1 Beispiel 1

Als Referenzfahrzeug wurde ein Pkw Ford Fiesta berücksichtigt, der mit einem 19-jährigen Fußgänger kollidierte. Die Beschädigungen des Fahrzeugs gehen aus den Bildern der Abbildung 1 hervor. Die Motorhaube ist links des rechten Scheinwerfers deformiert. Hinter dieser Eindellung ist eine großflächige Deformation auf der Motorhaube zu sehen. Der rechte Scheinwerfer wurde eingedrückt. Die rechte A-Säule weist neben der Aufschlagstelle an der Windschutzscheibe eine Delle auf. Eine Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeit des Referenzfahrzeugs anhand der vorgefundenen Spuren und Feststellungen an der Unfallstelle ergibt eine Kollisionsgeschwindigkeit zwischen 45 und 53 km/h. Die Masse des Fußgängers betrug 60-65 kg. Die Berechnung der Deformationsenergie hat ergeben, dass diese in einem Bereich von 5.078 Nm bis 6.751 Nm lag.

Anhang der Beschädigungen des vorgestellten Fahrzeugs, wurde bei dem nachstehenden Pkw Ford die Kollisionsgeschwindigkeit berechnet.

Die Beschädigungen dieses Fahrzeugs zeigen die Bilder der Abbildung 2. Es handelt sich um einen Ford Fiesta des gleichen Typs wie das Referenzfahrzeug. Die Beschädigungen dieses Fahrzeugs befinden sich ebenfalls im Frontbereich, jedoch ist die Intensität deutlich größer als bei dem Referenzfahrzeug. Berücksichtigt man die Lage der Beschädigungen, ist anzunehmen, dass keine großen Unterschiede der Steifigkeiten vorliegen. Die Motorhaube ist mittig eingedrückt und weist eine großflächige Eindellung auf. Im vorliegenden Fall war auch eine flächige Deformation auf dem Dach zu finden.

Der beteiligte Fußgänger war 45 Jahre alt und er ging quer über die Fahrbahn auf die Fahrtrichtung des Fahrzeugs von links nach rechts. Aufgrund der Deformationen der beiden Fahrzeuge wurde die Deformationsenergie bei dem zweiten Fahrzeug in einem Bereich von 8.500 bis 9.500 Nm abgeschätzt. Die Masse des Fußgängers lag im Bereich zwischen 75 und 80 kg. Die Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeit anhand der Deformationsenergie hat eine Geschwindigkeit im Bereich zwischen 50 und 60 km/h ergeben.

Die Kontrollberechnung der Kollisionsgeschwindigkeit bei diesem Fahrzeug, die anhand

der Spurenzeichnungen und Bremsversuche festgestellt werden konnte, wurde in einer Bandbreite zwischen 55 und 62 km/h berechnet. Vergleicht man die beiden genannten Geschwindigkeitsbereiche von 50-60 km/h (aus der Energie) bzw. 55-62 km/h (Kontrollrechnung) ist eine relativ gute Übereinstimmung zu erkennen.

3.1.2 Beispiel 2

Im zweiten Beispiel handelt es sich um eine Kollision eines Pkw Golf mit einer Fußgängerin. Die Bilder in Abbildung 3 zeigen die Beschädigungen des Fahrzeugs. Die 25-jährige Fußgängerin ging über die Fahrbahn von rechts nach links. Sie wurde von dem Fahrzeug in Höhe des linken Scheinwerfers erfasst. Die Halterung des Scheinwerfers brach, der Scheinwerfer wurde nach innen eingedrückt. Auf der Motorhaube in Höhe des Scheinwerfers wurde eine großflächige Deformation vorgefunden. Die Windschutzscheibe im Bereich vor dem Fahrzeugführer weist eine Aufschlagstelle auf. Die Masse der Fußgängerin lag im Bereich zwischen 58 und 65 kg.

Um die Kollisionsgeschwindigkeit bei diesem Fahrzeug anhand der Deformationsenergie zu berechnen, wurden zwei Referenzfahrzeuge (siehe Bilder der Abbildungen 4 und 5) mit den Deformationen an dem Pkw VW Golf verglichen. Das Bild 4 zeigt ein Fahrzeug des gleichen Typs, wobei die Intensität der Beschädigungen hier wesentlich höher liegt. Wegen der höheren Beschädigungsintensität wurde noch ein weiteres Fahrzeug berücksichtigt (siehe Abbildung 5). Bei diesem Fahrzeug handelt es sich zwar nicht um einen Pkw VW Golf, sondern um einen VW Derby. Jedoch lassen sich hier die Beschädigungen mit dem Pkw VW Golf vergleichen. Bei dem Fahrzeug in Abbildung 4 (Referenzfahrzeug VW Golf) ist ersichtlich, dass sich die großflächige Deformation der Motorhaube fast bis zu der Windschutzscheibe erstreckt. Die vordere Dachkante an der rechten Seite ist deformiert und eingedrückt. Im Bereich der Deformation des Daches wurde die Windschutzscheibe herausgerissen. Die Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw VW Golf konnte anhand der Bremsblockierspuren in einem Bereich von 60 bis 70 km/h berechnet werden.

Geht man in diesem Fall von einer Masse des Fußgängers von 68 – 73 kg aus, errechnet sich die Deformationsenergie im Bereich zwischen 9.444 bis 13.800 Nm.

Bei dem Pkw VW Derby (siehe Abbildung 5) befindet sich die Beschädigung an der Kante der Motorhaube rechts von der Mitte. Auf der Motorhaube wurden relativ kleine Deformationen

und an der A-Säule rechts eine leichte Eindelung vorgefunden. Die Windschutzscheibe wurde beschädigt, wobei die Anschlagstelle im Bereich vor dem Beifahrer lag. Die Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw VW Derby wurde aufgrund der Bremsblockierspuren in einem Bereich von 40 bis 45 km/h berechnet. Der mit dem Pkw VW Derby kollidierte Fußgänger war 70-75 kg schwer, sodass sich die Deformationsenergie in einer Bandbreite von 4.320 bis 4.630 Nm ergibt.

Unter Berücksichtigung der Berechnungen der Deformationsenergien bei den beiden Referenzfahrzeugen wurde die Energie bei dem Pkw VW Golf in einem Bereich zwischen 5.500 und 7.500 Nm eingeschätzt. Bei einer Masse der Fußgängerin zwischen 63 bis 69 kg wurde dann die Kollisionsgeschwindigkeit in einem Bereich von 46-56 km/h berechnet.

Die errechnete Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs anhand der Spuren auf der Straße betrug 45 bis 53 km/h.

Auch in diesem Fall kann von einer relativ guten Übereinstimmung ausgegangen werden.

4. Folgerungen und Bewertung der Methode

Die vorgestellten Beispiele haben gezeigt, dass mit der Methode gute Ergebnisse erzielt werden konnten. Voraussetzung für eine optimale Applikation sind qualitativ entsprechende Referenzfahrzeuge. Es ist vorteilhaft, mehrere Referenzfahrzeuge zu berücksichtigen.

Es ist sicherlich ersichtlich, dass die Methode nur dann angewendet werden kann, wenn es sich um einen Vollstoß handelt und zwar bei Erwachsenen. Bei Unfällen mit Kindern konnten keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden. Dies liegt insbesondere in der Masse und Größe der Kinder begründet. Die Fahrzeugdeformationen sind bei Unfällen mit Kindern relativ ähnlich, auch bei größeren Geschwindigkeitsunterschieden.

Falls lediglich Beschädigungen der Fahrzeuge von Crashversuchen bekannt sind, ist es erforderlich den Unterschied der Festigkeit bei einem Dummy und dem menschlichen Körper zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere bei niedrigeren Geschwindigkeiten.

5. Zusammenfassung

Es wurde eine Methode zur Berechnung der Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs bei Kollision mit dem Fußgänger anhand der Beschädigungen des Fahrzeugs beschreiben.

An zwei Beispielen wurden die Möglichkeiten der Applikation der Methode dargestellt. Es

wurde gezeigt, dass, falls geeignete Vergleichsfahrzeuge (Referenzfahrzeuge) zur Verfügung stehen, gute Ergebnisse erzielt werden konnten. Ferner wurden die Anwendungsmöglichkeiten, die Grenze und die Nachteile der Methode diskutiert.

6. Literaturnachweis

- [1] Kühnel, A.: *Der Fahrzeug-Fußgänger-Unfall und seine Rekonstruktion*. Dissertation TU Berlin 1980.
- [2] Danner, M., Halm, J.: *Technische Analyse von Verkehrsunfällen*. Kraftfahrzeugtechnischer Verlag . 1981
- [3] Burg, H., Rau, H.: *Handbuch der Verkehrsunfallrekonstruktion*. Verlag Ambis 1981.
- [4] Vorel, F., Fialka, J.: *Metodika odhadu narazove rychlosti vozidla na zaklade zraneni chodce*. 1997
- [5] Vorel, F.: *Odhad narazove rychlosti vozidla na zaklade kvantity poraneni chodce*. Dissertation Karlsuniversität Prag 1993.
- [6] Steffan, H., Moser, A.: *Simulationsprogramm PC - Crash*

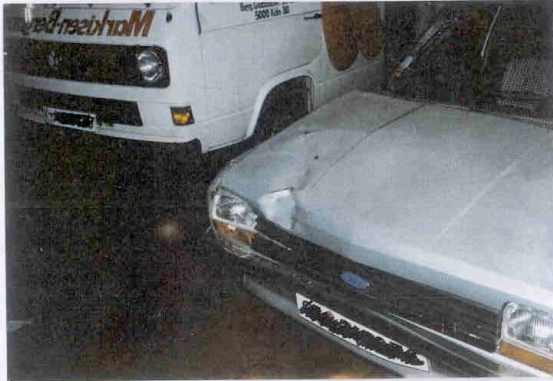


Abbildung 1



Abbildung 2



Abbildung 3



Abbildung 4



Abbildung 5

