

## *Originalarbeiten — Original Papers*

# Beziehungen zwischen Aufprallgeschwindigkeit, Fahrzeugbeschädigungen, Frakturen und „Wurfweite“ bei 50 tödlichen Fußgänger-PKW-Unfällen

S. KAMIYAMA\* und G. SCHMIDT

Institut für gerichtliche Medizin der Universität Heidelberg

Eingegangen am 27. März 1970

### Relations Between Collision Speed, car Damage, Fractures and Distance of Projection in Fifty Cases of Pedestrian-car Accidents

*Summary.* Fifty cases were selected from 160 autopsies performed on pedestrians who were accidentally killed by private motorcars; the cases were selected according to the following criteria:

The cases were confined to impact accidents involving adults in which reliable evidence could be gathered from the Court records in relation to damage to the car, the place of collision, the final position of the injured pedestrian and the extent of skidmarks. The initial and collision speeds of the cars were calculated from these facts and the distance of projection of the pedestrians were measured.

The initial speeds, calculated between 32 and 95 km/h, were, in most cases, higher than the declared speeds. The differences between initial and collision speeds were larger. Fatal injuries could arise from a collision velocity of only 12 km/h. A striking feature of the analysis was the distribution of two peaks of frequency whether these were classified according to the collision speeds or according to the deformation of the vehicle (collision speed: 26% at the speed of 51 to 60 km/h and 22% at the speed of 21 to 30 km/h; deformation work: 34% at the deformation work of 39 to 200 kpm and 30% at the deformation work of 701 to 1,000 kpm).

Twice as many fractures of the vertebral column and pelvis were sustained at collision speeds over 50 km/h as were sustained under 50 km/h.

In one third of 44 pedestrian accidents, the distance of projection was within the expected range described by Fiala; in one third the distance was above and in one third below the expected range.

If additional data for calculation were lacking, the patterns in injury arising from the impacts gave indications from which it was possible to estimate the collision speed.

*Key-Words:* Verkehrsunfälle — Aufprallgeschwindigkeit — Fußgängerunfälle — Anstoßverletzungen.

*Zusammenfassung.* Aus 160 Obduktionen von Fußgängern, die durch PKW getötet worden waren, sind 50 nach folgenden Gesichtspunkten ausgewählt worden:

Auffahrunfälle Erwachsener mit gesicherten Angaben in den Gerichtsakten über Fahrzeugbeschädigungen, Zusammenstoßstellen, Endlage der Fußgänger und Bremsspuren. Aus diesen Daten wurden Ausgangs- und Aufprallgeschwindigkeiten berechnet sowie die „Wurfweite“ der Fußgänger gemessen.

Die Ausgangsgeschwindigkeiten, nach der Berechnung zwischen 32 und 95 km/h, lagen meistens etwas höher als die angegebenen Geschwindigkeiten. Zwischen Ausgangs- und Auf-

\* Stipendiat der Alexander v. Humboldt-Stiftung, Dozent Dr. med. S. Kamiyama, Dept. of Legal Medicine, School of Medicine, Chiba University, 313 Inohanacho, Chiba, Japan.

prallgeschwindigkeiten waren die Differenzen größer. Ab 12 km/h Aufprallgeschwindigkeit kam es bereits zu tödlichen Verletzungen. Auffallend ist die zweigipfelige Verteilung der Häufigkeit sowohl bei der Einteilung nach den Aufprallgeschwindigkeiten als auch nach den Deformationsarbeiten (Aufprallgeschwindigkeit: 26% bei 51–60 km/h und 22% bei 21 bis 30 km/h; Deformationsarbeit: 34% bei 39–200 kpm und 30% bei 701–1000 kpm).

Bei Aufprallgeschwindigkeiten über 50 km/h wurden doppelt so viel Knochenbrüche an der Wirbelsäule und am Becken als bei Aufprallgeschwindigkeiten unter 50 km/h festgestellt.

Bei 44 Fußgängerunfällen lag ein Drittel innerhalb der Erwartungsgrenze der „Wurfweite“ nach Fiala, je ein Drittel aber darüber bzw. darunter.

Das Beschädigungsbild und die Anstoßverletzungen geben Hinweise zur Ermittlung der Aufprallgeschwindigkeit, vor allem wenn weitere Berechnungsgrundlagen fehlen.

Bei der gerichtsmedizinischen Untersuchung von Unfallopfern sind die Beziehungen zwischen Verletzungen und dem verursachenden „Werkzeug“ zu prüfen. Zusammenstöße zwischen Fußgängern und PKW sind leider immer noch sehr häufig. Von 381 Verkehrsunfalltoten, die in den Jahren 1965–1967 im Institut für gerichtliche Medizin der Universität Heidelberg gerichtlich seziert wurden, waren 42% (160 Fälle) Fußgänger, die von Personenkraftwagen erfaßt worden sind (Kamiyama, Käppner und Gg. Schmidt, 1970). In der vorliegenden Arbeit soll aus dem Gesamtkomplex der Rekonstruktionsmöglichkeiten (zusammenfassend dargestellt u. a. von Kulowski, 1960; Dürwald, 1966; Gögler, 1968; Miyauchi, 1966; Prokop und Radam, 1968) die Frage der Aufprallgeschwindigkeit und des Abstandes zwischen Aufprallpunkt und Endlage des Fußgängers geprüft werden. Außerdem wurden die Frakturhäufigkeiten zu den Aufprallgeschwindigkeiten in Beziehung gesetzt. Bisher ist nicht geklärt, ob berechenbare Beziehungen zwischen den Anstoßverletzungen des Fußgängers und der Geschwindigkeit des Fahrzeuges sowie seinen Beschädigungen bestehen.

Daß die Grenzgeschwindigkeit für den „Aufschöpfungsvorgang“ fließend ist (Gögler, 1968), hängt von mehreren Faktoren ab: Von der Formgebung der Haube, von der Aufprallstelle in bezug auf den Körperschwerpunkt und von der getroffenen Körperseite. Die obere Begrenzung der vorderen Haube liegt bei den meisten PKW noch unterhalb des mit  $100 \pm 7$  cm angegebenen Mittelwertes für den Körperschwerpunkt Erwachsener.

Nach Fiala (1969) schlägt der Kopf des Fußgängers durch die fortschreitende Rotation auf die Motorhaube bzw. bei ca. 50 km/h (je nach Fahrzeugtyp) gegen die Windschutzscheibe. Bei ca. 70 km/h fliegt der Fußgänger über das Dach hinweg.

Kamiyama (1963) teilte mit, daß die Eigenart und der Grad der „Stoßstangenverletzungen“ durch viele Faktoren beeinflusst werden: Zum Beispiel durch die Anstoßposition des Beines (von vorn, von seitlich oder von hinten), durch Frontstruktur (flache oder steile Front), durch die Geschwindigkeit und durch das Gewicht des Fahrzeuges sowie durch den Abstand des Schwerpunktes des Opfers vom Boden im Verhältnis zur Höhe der Stoßstange. Der Stoß gegen die Vorderseite oder die Seite des Beines verursacht eine schwerere Verletzung als derjenige gegen die Rückseite. Es ist anzunehmen, daß der Unterschied von der Bewegungsbeschränkung des Kniegelenkes und von der Querschnittstruktur (Muskelverteilung) des Beines abhängt. Der Zusammenstoß mit einem PKW mit flacher Front verursacht oft einen Beinbruch, während ein Kombiwagen mit steiler Front seltener einen Beinbruch verursacht (s. Heifer, 1967).

Fiala (1969) betont, daß es von entscheidender Bedeutung ist, wie sich die Deformationsarbeit bei Zusammenstoß zwischen Körper und Fahrzeug auf die beiden Stoßpartner verteilt, welcher von beiden stärker verformt wird. Die Verteilung der Deformationsarbeit auf die Stoßpartner wird durch die örtliche Festigkeit derselben entschieden. Dabei reicht ein geringer Unterschied in der Festigkeit aus, um einem Stoßpartner allein die gesamte Deformationsarbeit zuzuführen (z. B. beim Kopf-an-Kopf-Unfall (G. Schmidt, 1961)). Die erträgliche Kraft ist für die verschiedenen Körperteile verschieden groß und hängt stark von der Fläche und Zeitdauer der Einwirkung ab. Sie ist um so größer, je größer die Fläche und je kleiner die Einwirkungsdauer sind.

Der Mensch ist kein starrer Körper im Sinne der technischen Mechanik, er ist vielmehr als Gliederkette anzusehen. Auf die Fahrbahn geschleudert, bewegt er sich außerdem nicht nur rutschend, sondern auch rollend weiter (Marquard, Engels, Nelsen, 1966).

### Untersuchungsmaterial

Aus Obduktionen des Institutes für gerichtliche Medizin der Universität Heidelberg der Jahre 1965—1967 (damaliger Direktor: Prof. Dr. Berthold Mueller) wurden 50 Unfälle zwischen erwachsenen Fußgängern und PKW ausgewählt. Überfahrungs- und mehrfache Unfälle wurden nicht berücksichtigt. Kinderunfälle wurden ausgeklammert. Es wurden Akten des Amtsgerichts und der Staatsanwaltschaft verwertet, um notwendige Detailfaktoren (Fahrzeugtyp, Fahrzeuggewicht, Zahl der Mitfahrer, Anstoßstelle, Länge der Bremsspur, Endlage der Fußgänger, Fahrbahnbeschaffenheit zur Unfallzeit, Ergebnis der Bremsprüfungen, Gutachten von technischen Sachverständigen und die von Angeklagten angegebene Ausgangsgeschwindigkeit, Aussage von Zeugen über Ausgangsgeschwindigkeit des unfallbeteiligten PKW und über Zusammenstoßstellen) zu erfahren<sup>1</sup>. Waren keine Bremsspuren und/oder keine Zusammenstoßstelle registriert, wurden diese Fälle nicht verwertet. So blieben von 160 tödlichen Unfällen mit Fußgängern 50 übrig. Das Alter betrug zwischen 19 und 93 Jahren. Mittel 62,1 Jahre.

## Berechnung der Ausgangsgeschwindigkeit und Anprallgeschwindigkeit des Fahrzeugs bei Fußgängerunfällen

### 1. Ausgangsgeschwindigkeit ( $V_{0R}$ )

Wenn das unfallbeteiligte Kraftfahrzeug zum Unfallzeitpunkt sichtbare Bremsblockierspuren hinterließ, ist die Möglichkeit durch die mit dem beteiligten Fahrzeug am Unfallort bei gleichen Fahrbahn- und Witterungsbedingungen durchgeführten Bremsprüfungen gegeben, die Ausgangsgeschwindigkeit im Unfallzeitpunkt ziemlich genau zu berechnen.

Bei Fällen, in denen die Bremsprüfung von Polizeibeamten oder technischen Sachverständigen nicht durchgeführt worden ist, wurden die Erfahrungswerte der FB-Beschaffenheit entsprechend mit einer

Bremsverzögerung  $b_m$  von 3—7 m/s<sup>2</sup> berücksichtigt.

a) Rechnung mit Hilfe der ermittelten mittleren Bremsverzögerung ( $b_m$ ).

Die sichtbare Bremsspurlänge ( $S$ ) muß folgendermaßen korrigiert werden:

Zuerst ist der Radstand mit  $S_1$  m Länge in Abzug zu bringen, so daß eine sichere Bremsspur von  $(S - S_1)$  m in Rechnung zu stellen ist. Ferner ist ein Bremswegzuschlag mit  $S_2$  m

<sup>1</sup> Wir danken den Behörden für die Genehmigung zur Auswertung.

Länge für den unsichtbaren Bremsweg zu berücksichtigen, welcher vom Zeitpunkt der Bremsbetätigung bis zum Sichtbarwerden der Spur zurückgelegt wird. Diese Wegstrecke ist 20% der Bremspurlänge (z. B. 4,6 m bei einer Geschwindigkeit von 40–50 km/h). Also ist der gesamte Bremsweg  $S_{\text{Effektiv}} = (S - S_1 + S_2)$  m lang, der für den Geschwindigkeitsabbau (ohne Anprall) effektiv zur Verfügung stand.

Mit Hilfe der durch Bremsprüfungen ermittelten mittleren Bremsverzögerung ( $b_m$ ) ist die Ausgangsgeschwindigkeit ( $V_{0R}$ ) gegeben:

$$\begin{aligned} V_{0R} &= \sqrt{2b_m(S - S_1 + S_2)} \text{ m/s} \\ &= 3,6 \cdot \sqrt{2b_m S_{\text{Effektiv}}} \text{ km/h.} \end{aligned}$$

b) Rechnung mit Hilfe der reinen Brems-Blockierspurlänge.

Aus der reinen Bremspurlänge (die um den Radstand des Fahrzeuges verminderte Bremspurlänge) zur Unfallzeit ( $S_u$ ) und bei der Bremsprüfung ( $S_p$ ) sowie aus der erreichten Geschwindigkeit beim Versuch ( $V_p$ ) wird die Ausgangsgeschwindigkeit ( $V_{0R}$ ) errechnet:

$$V_{0R} = \sqrt{\frac{S_u}{S_p}} \cdot V_p \text{ km/h.}$$

## 2. Aufprallgeschwindigkeit ( $V_a$ )

Bei Fällen, in denen die Zusammenstoßstelle zwischen Fahrzeug und Fußgänger auf der polizeilichen Skizze bezeichnet ist, kann die Aufprallgeschwindigkeit berechnet werden.

a) Rechnung aus Ausgangsgeschwindigkeit ( $V_{0R}$ )

$$\begin{aligned} V_a &= \sqrt{V_{0R}^2 - 2b_m S_0} \text{ m/s} \\ &= 3,6 \sqrt{V_{0R}^2 - 2b_m S_0} \text{ km/h.} \end{aligned}$$

$S_0$ : Abstand zwischen Ort des Zusammenstoßes und Ort des Bremsbeginns.

b) Rechnung aus Geschwindigkeit nach dem Zusammenstoß ( $V_n$ ) und aus Gewicht des Fahrzeuges ( $M_{\text{PKW}}$ ) und Fußgänger ( $M_F$ ).

$$\begin{aligned} V_a &= V_n \cdot \frac{M_{\text{PKW}} + M_F}{M_{\text{PKW}}} \text{ m/s} \\ &= \sqrt{2b_m S_n} \cdot \frac{M_{\text{PKW}} + M_F}{M_{\text{PKW}}} \text{ m/s.} \end{aligned}$$

$S_n$ : Bremspurlänge vom Ort des Zusammenstoßes bis Hinterachse des Fahrzeuges.

## Berechnung der Deformationsarbeit beim Zusammenstoß zwischen PKW und Fußgänger

Unter der Annahme, daß der Stoß zwischen Mensch und Fahrzeug annähernd vollplastisch ist, ebenso, daß er gerade und zentral ist, kann die auftretende Deformationsarbeit physikalisch durch die beteiligten Massen  $M_{\text{PKW}}$  und  $M_F$  und die ursprüngliche Geschwindigkeitsdifferenz (s. Fiala, 1969) definiert werden:

$$A_D = \frac{M_{\text{PKW}}(V_1 - V_2)^2}{2(1 + M_{\text{PKW}}/M_F)} \text{ kpm.}$$

Falls ein Fahrzeug (PKW) mit der Masse  $M_{\text{PKW}}$  gegen einen stehenden Fußgänger ( $V_2 = 0$ ) mit der Masse  $M_F$  mit Anprallgeschwindigkeit von  $V_1$  fährt, ist die Deformationsarbeit ( $A_D$ ) folgende:

$$A_D = \frac{M_{\text{PKW}} V_1^2}{2 \left( 1 + \frac{M_{\text{PKW}}}{M_F} \right)} \text{ kpm.}$$

## Ergebnisse

### 1. Von den Fahrern angegebene und berechnete Ausgangsgeschwindigkeiten sowie berechnete Aufprallgeschwindigkeiten

Als die von den Fahrern *angegebenen* Ausgangsgeschwindigkeiten ( $V_{0A}$ ) wurden die oberen Grenzwerte verwendet. Abb. 1 zeigt Vergleiche zwischen angegebenen und berechneten Ausgangsgeschwindigkeiten ( $V_{0R}$ ) bei 38 Fällen. Bei 12 Fällen fehlte  $V_{0A} \cdot 50\%$  der  $V_{0A}$  fielen in den Bereich von 41–50 km/h, ebenso ca.  $\frac{1}{3}$  der  $V_{0R}$  entsprechend den Geschwindigkeiten im Stadtverkehr. Die berechneten Ausgangsgeschwindigkeiten sind meistens höher als die von den Beschuldigten angegebenen oberen Grenzwerte.

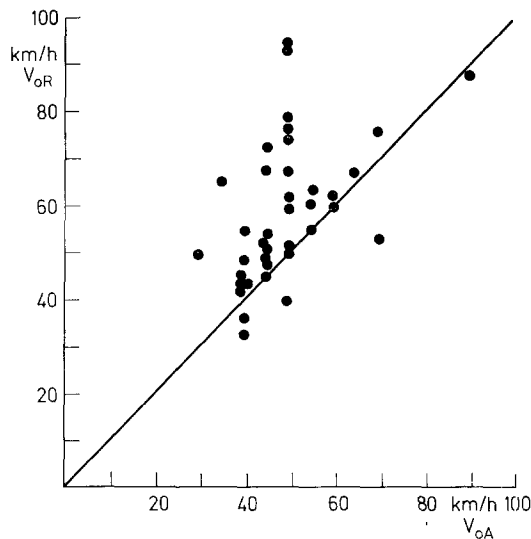


Abb. 1. Übereinstimmungsgrad zwischen der von Fahrern angegebenen Ausgangsgeschwindigkeit ( $V_{0A}$ ) und der berechneten Ausgangsgeschwindigkeit ( $V_{0R}$ ) bei 38 von PKW tödlich angefahrenen erwachsenen Fußgängern. Für die angegebene Ausgangsgeschwindigkeit ( $V_{0A}$ ) wurden hohe Grenzwerte angenommen

Abb. 2 zeigt das Verhältnis der Aufprallgeschwindigkeiten ( $V_a$ ) zu den berechneten Ausgangsgeschwindigkeiten ( $V_{0R}$ ). Die Häufigkeit der  $V_a$  (Abb. 3) läßt zwei Spitzen erkennen: 26% im Bereich 51–60 km/h und 22% bei 21–30 km/h. Zu beachten ist, daß auch geringe Geschwindigkeiten zum Tode geführt haben.

In Abb. 4 ist die Deformationsarbeit beim Zusammenstoß zwischen PKW und Fußgängern dargestellt. Die Häufigkeit hat auch hier zwei Gipfel: bei 39–200 kpm 34% und bei 701–1000 kpm 30%. Diese Werte bedeuten die Deformationsarbeit, die zur Beschädigung der PKW und zur Verletzung der Fußgänger geführt hat, unter der Voraussetzung, daß der Zusammenstoß gerade und zentral war.

### 2. Anstoßstellen der beteiligten PKW und „Wurfweite“ der Fußgänger

In Abb. 5 wurden die Unfallvorgänge nach der Häufigkeit der Anstoßstellen an den beteiligten PKW aufgegliedert. Die einzelnen Gruppen wurden in der

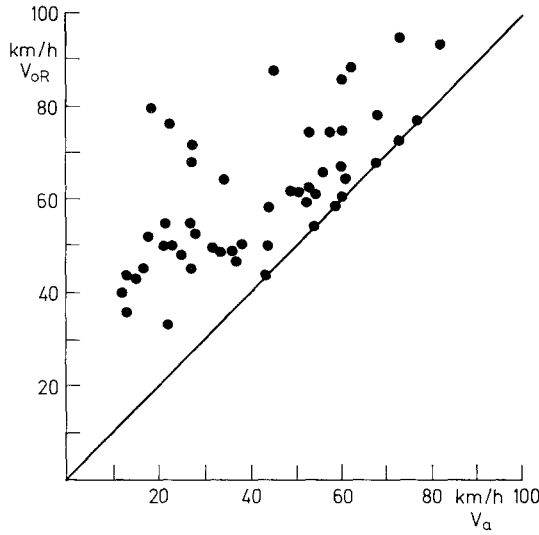


Abb. 2. Zusammenhang zwischen der berechneten Ausgangsgeschwindigkeit ( $V_{0R}$ ) und den berechneten Aufprallgeschwindigkeit ( $V_a$ ) bei 50 von PKW tödlich angefahrenen erwachsener Fußgängern

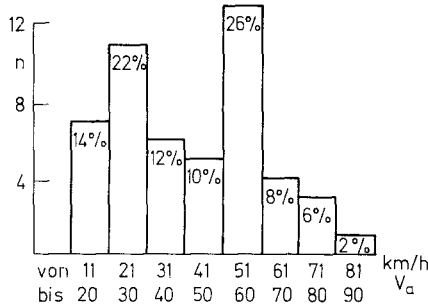


Abb. 3. Häufigkeit der berechneten Aufprallgeschwindigkeit ( $V_a$ ) der PKW bei 50 Fußgängerunfällen. Zwei Spitzen wurden beobachtet: bei 51–60 km/h 26% und bei 21–30 km/h 22%

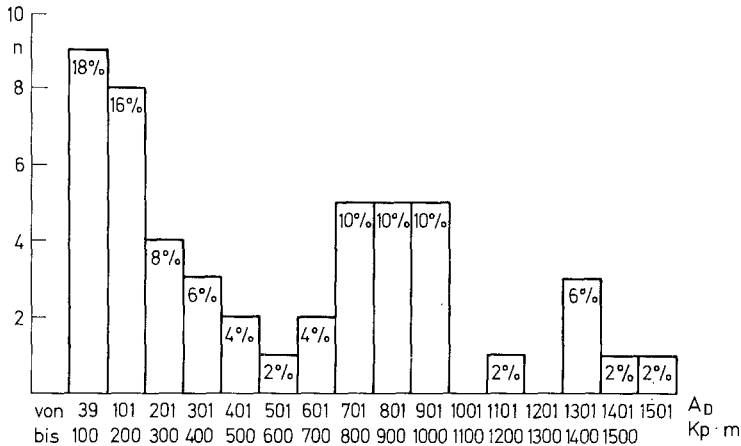


Abb. 4. Deformationsarbeit beim Zusammenstoß zwischen PKW und Fußgänger bei 50 Unfällen

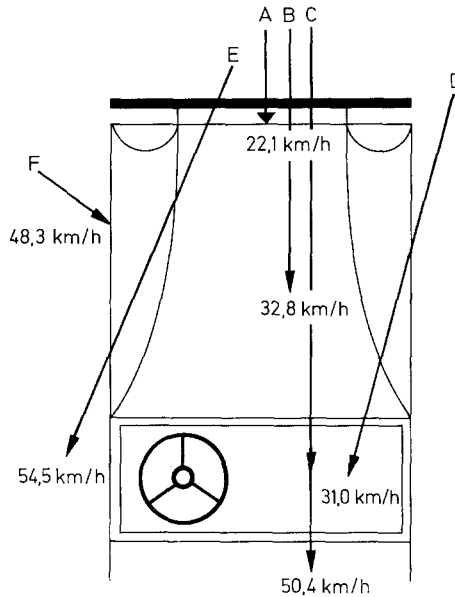


Abb. 5 Aufschöpfungsvorgang in bezug auf berechnete Aufprallgeschwindigkeiten ( $V_a$ ) der PKW bei 50 tödlich angefahrenen erwachsenen Fußgängern. *A* Nur Vorderfront. *B* Vorderfront und Haube. *C* Vorderfront, Haube bis Windschutzscheibe und/oder Dach. *D* Von vorne seitlich auf Haube und Windschutzscheibe und/oder Rahmen der Windschutzscheibe. *E* Von der Haube seitlich abgewiesen. *F* Seitliche Berührung

folgenden Tabelle nach den jeweils berechneten Aufprallgeschwindigkeiten und den beteiligten Fahrzeugtypen aufgeschlüsselt. Dabei zeigt sich, daß die Vorderfront allein beteiligt war, wenn die Aufprallgeschwindigkeit gering und die Fahrzeugfront verhältnismäßig steil und hoch war. Bei den Fahrzeugen mit schräg nach vorne abfallender Haube wurden die Windschutzscheibe und das Dach bereits bei niedrigen Geschwindigkeiten berührt. Bei großen Fahrzeugen kam dies in der Regel erst zustande, wenn die Aufprallgeschwindigkeit größer war. Die Hauptgruppe mit 24 Fällen (Windschutzscheibe und Dach beschädigt) hatte eine mittlere Aufprallgeschwindigkeit von 50,4 km/h und enthielt 10 Volkswagen mit Käferform.

Die Endlage der Fußgänger war vom Anstoßpunkt um so weiter entfernt, je höher die Geschwindigkeiten wurden. Nach Fiala (1969), der 18 Versuche mit Puppen ausgewertet hat, gibt es einen Erwartungsbereich für die Endlage („Wurfweite“), der in Abb. 6 gestrichelt eingezeichnet ist. Von 44 Fußgängerunfällen lag etwa ein Drittel innerhalb dieser Erwartungsgrenzen, je ein Drittel aber darüber, bzw. darunter.

Es ist bekannt, daß die Wurfweite nach der Formel

$$W = \frac{V_a^2}{g} \cdot \sin 2\alpha,$$

Zu Abb. 5

*A. Nur Vorderfront*

8 Fälle (mittl. Wert: 22,1 km/h)  
 13 km/h Fiat  
 13 km/h Opel Kadett  
 15 km/h Opel Olympia  
 18 km/h Opel Rekord  
 21 km/h Benz 220 SEb  
 27 km/h Ford 17 M  
 34 km/h Benz 200  
 36 km/h Opel Rekord

*B. Vorderfront und Haube*

6 Fälle (mittl. Wert: 32,8 km/h)  
 22 km/h DKW  
 22 km/h DKW  
 22 km/h Opel Rekord  
 28 km/h Triumph  
 43 km/h Fiat 850  
 60 km/h Citroën

*C. Vorderfront, Haube bis Windschutzscheibe und/oder Dach*

24 Fälle (mittl. Wert: 50,4 km/h)

12 km/h VW 1200  
 17 km/h VW 1200  
 25 km/h Fiat 850  
 27 km/h Chevrolet  
 27 km/h Ford 17 M  
 32 km/h Opel Rekord  
 37 km/h VW 1200  
 38 km/h VW 1200  
 44 km/h Porsche  
 45 km/h VW 1200  
 50 km/h VW 1200  
 51 km/h Ford 17 M

53 km/h VW 1500  
 54 km/h Simca 1500  
 56 km/h Opel Kadett  
 60 km/h Fiat 1500  
 60 km/h Opel Rekord  
 60 km/h VW 1300  
 62 km/h VW 1500  
 68 km/h VW 1200  
 68 km/h NSU  
 73 km/h Opel Kapitän  
 73 km/h Benz 200  
 77 km/h Morris

*D. Von vorne seitlich auf Haube und Windschutzscheibe und/oder Rahmen der Windschutzscheibe*

3 Fälle (mittl. Wert: 31,0 km/h)  
 22 km/h Peugeot  
 27 km/h Glas  
 44 km/h Fiat 600

*E. Von der Haube seitlich abgewiesen*

6 Fälle (mittl. Wert: 54,5 km/h)  
 18 km/h Fiat  
 53 km/h Opel Rekord  
 54 km/h Opel Rekord  
 59 km/h Ford 17 M  
 61 km/h Fiat  
 82 km/h Opel Rekord

*F. Seitliche Berührung*

3 Fälle (mittl. Wert: 48,3 km/h)  
 34 km/h DKW  
 53 km/h DKW  
 58 km/h Ford 17 M

am größten ist, wenn der Wurfwinkel  $45^\circ$  beträgt. Weiterhin ergibt sich aus zahlreichen Unfallbeobachtungen, daß der Wurfwinkel um so steiler ist, je tiefer unter dem Schwerpunkt die primäre Anstoßstelle liegt und je stärker die frontalen Fahrzeugteile abgeschrägt sind (Stromlinienform). Daher können Fußgänger nahezu senkrecht in die Höhe geschleudert werden, brauchen also vom Anstoßpunkt nicht weit entfernt aufzuschlagen, während bei Aufprall in der Nähe des Körperschwerpunktes ein sehr flacher Wurfwinkel resultiert und der Abstand zwischen Anstoß und Endlage größer wird. Bei der Rekonstruktion sind deshalb unbedingt die Fahrzeugart, die Fahrzeugbeschädigung und die Körperabmessungen des Fußgängers, nicht zuletzt aber seine Verletzungen, zu berücksichtigen.



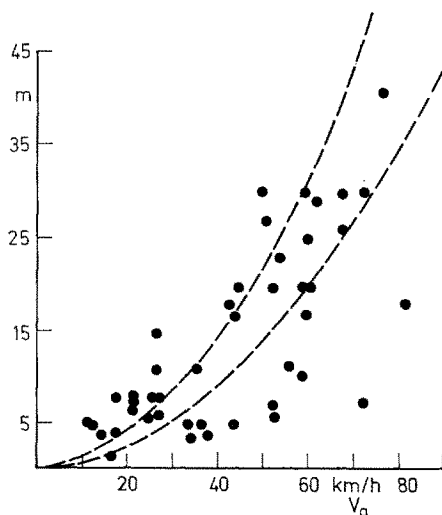


Abb. 6. „Wurfweite“ (das ist der Abstand der Endlage von der Zusammenstoßstelle) der 44 tödlich von PKW angefahrenen erwachsenen Fußgänger. Ein gestrichelt eingezeichneter Erwartungsbereich stammt von Fiala (1969)

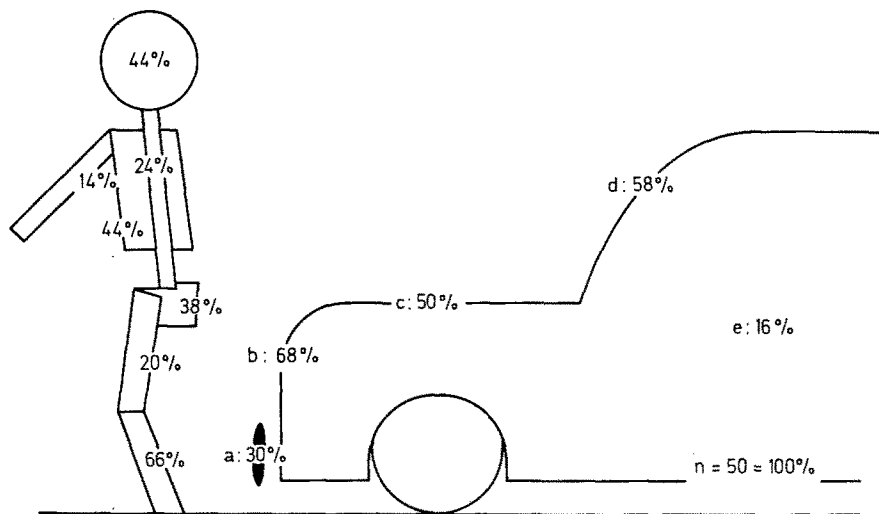


Abb. 7a—e. Zusammenhang zwischen Beschädigungshäufigkeiten der PKW und Frakturhäufigkeiten der Fußgänger bei 50 tödlichen Unfällen. a Stoßstange und/oder Kennzeichen, b Scheinwerfer und/oder Kühlerbekleidung und/oder vordere Haube, c Haube und/oder Kotflügel, d Windschutzscheibe und/oder Rahmen der Windschutzscheibe und/oder Dach, e Seitliche Beschädigung (Kotflügel und/oder Außenspiegel und/oder Tür)

### 3. Zusammenhang zwischen Frakturen, Aufprallgeschwindigkeit und Deformationsarbeit

Die Beschädigungsorte an den Fahrzeugen wurden in Tabelle I zusammengestellt. Frakturen und dazu passende Beschädigungsstellen bringt Abb. 7. Unterschenkelbrüche durch Anprall der Stoßstange waren nicht immer mit

Tabelle 1. Häufigkeiten der beschädigten Stellen der PKW bei 50 tödlichen Fußgängerunfällen

Beschädigungs- stelle	Anzahl $n = 50 = 100\%$	Beschädigungs- stelle	Anzahl $n = 50 = 100\%$
Stoßstange und/oder Kennzeichen	30	Kotflügel rechts	26
Kühlerbekleidung und/ oder vordere Haube	44	Holm der Windschutz- scheibe	6
Scheinwerfer links	16	Windschutzscheibe	48
Scheinwerfer rechts	20	Vorderes Dach	18
Motor- oder Kofferhaube	22	Tür links	4
Kotflügel links	16	Tür rechts	4
		Außenspiegel	8

Tabelle 2. Vergleich der Frakturhäufigkeiten an den verschiedenen Körperstellen in bezug auf die Aufprallgeschwindigkeiten ( $V_a$ ) der PKW bei 50 tödlichen Fußgängerunfällen

Beschädigung	Aufprallgeschwindigkeit bis 50 km/h $n = 29 = 100\%$	Aufprallgeschwindigkeit über 50 km/h $n = 21 = 100\%$
Schädelfraktur	34,5	57,1
Thoraxfraktur	41,4	47,6
Beckenfraktur	24,1	57,1
Armfraktur	13,8	14,3
Beinfraktur	69,0	71,4
Wirbelsäulenfraktur	13,8	38,1
Zertrümmerung der Windschutzscheibe	41,4	57,1
Mittlerer Wert des Alters der Toten	66,0 Jahre	56,8 Jahre

Beschädigungen der Stoßstangenteile verknüpft. Oberschenkel- und Beckenbrüche sind mit Beschädigungen der Fahrzeugvorderfront und der Haube gut korreliert. Die obere Körperhälfte wird sowohl beim Anstoß gegen die oberen frontalen Fahrzeugteile (Haube, Windschutzscheibe, Vorderholme, Dach) als auch sekundär beim Sturz verletzt. Die Zuordnung bereitet Schwierigkeiten, weil z. B. Schädelverletzungen an formstabilen Teilen der Karosserie auch ohne Beschädigung derselben vorkommen. Je höher die Geschwindigkeiten beim Aufprall sind, desto häufiger die Frakturen (Tabelle 2). Aus dieser Zusammenstellung ergibt sich eine besondere Frakturanfälligkeit der alten Menschen: Bei den Aufprallgeschwindigkeiten unter 50 km/h lag das Durchschnittsalter der Verletzten bei 66,0 Jahren, während über 50 km/h das mittlere Alter 56,8 Jahre betrug. Eindeutig vermehrt waren bei den hohen Geschwindigkeiten Schädel-, Becken- und Wirbelsäulenbrüche. (Schädelbrüche: 34,5  $\rightarrow$  57,1 %, Beckenbruch: 24,1  $\rightarrow$  57,1 %, Wirbelsäulenfraktur: 13,8  $\rightarrow$  38,1 %). Ähnliche Verteilungen der Frakturhäufigkeiten wie in Tabelle 2 erhält man, wenn die Einteilung nach der Deformationsarbeit kleiner bzw. größer als 600 kpm gewählt wird.

### Verwendete Abkürzungen

$V_{0R}$	berechnete Ausgangsgeschwindigkeit
$V_{0A}$	vom Fahrer angegebene Ausgangsgeschwindigkeit
$V_a$	berechnete Aufprallgeschwindigkeit
$V_1$	Geschwindigkeit des Fahrzeuges beim Zusammenstoß
$V_2$	Geschwindigkeit des Fußgängers beim Zusammenstoß
$V_p$	erreichte Geschwindigkeit des Fahrzeuges bei der Bremsprüfung
$V_n$	berechnete Geschwindigkeit nach dem Zusammenstoß
$M_{PKW}$	Masse des Fahrzeuges
$M_F$	Masse des Fußgängers
$b_m$	mittlere Bremsverzögerung
$g$	Fallbeschleunigung
$S$	sichtbare Bremspurlänge
$S_1$	Radstand des Fahrzeuges
$S_2$	Bremswegzuschlag für den unsichtbaren Bremsweg
$S_{\text{Effektiv}}$	effektiver Bremsweg, der für den Geschwindigkeitsabbau zur Verfügung stand
$S_u$	reine Bremspurlänge zur Unfallzeit
$S_p$	reine Bremspurlänge bei Bremsprüfung
$S_0$	Abstand zwischen Ort des Zusammenstoßes und Ort des Bremsbeginns
$S_n$	Bremspurlänge vom Ort des Zusammenstoßes bis Hinterachse des Fahrzeuges
$W$	„Wurfweite des Fußgängers“
$\alpha$	Wurfwinkel
$A_D$	Deformationsarbeit

Der Alexander von Humboldt-Stiftung wird für die Gewährung des Stipendiums gedankt.

### Literatur

- Dürwald, W.: Gerichtsmedizinische Untersuchungen bei Verkehrsunfällen. Leipzig 1966.
- Fiala, E.: Zur Verletzungsmechanik bei Verkehrsunfällen. Mschr. Unfallheilk. **98**, 31 (1969).
- Gögler, E.: Chirurgie und Verkehrsmedizin. Klinik, Mechanik und Biomechanik des Unfalls: In: Handbuch der Verkehrsmedizin, herausgeg. von K. Wagner und H. J. Wagner, S. 417ff. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1968.
- Heifer, V.: Untersuchungen tödlicher Straßenverkehrsunfälle mit Methoden der elektronischen Datenverarbeitung. Zbl. Verkehrs-Med. **3**, 129 (1967).
- Kamiyama, S.: The injuries and the type of the causative instruments. Automobile injuries (VII). Impact injuries (1). Acta Crim. Med. Leg. Japon **29** (2), 26 (1963).
- Studies on the injuries and the type of the causative instruments, automobile injuries. Jap. J. leg. Med. **17**, 103 (1963).
- Käppner, R., Schmidt, G.: Verletzungskombinationen bei tödlichen Verkehrsunfällen. Mschr. Unfallheilk., im Druck (1970).
- Kulowski, J.: Crash injuries. Springfield/USA: Thomas Publisher 1960.
- Marquard, E., Engels, K., Nelsen, W.: Die Grundlagen der technischen Verkehrsunfallkunde und Ordnungsprobleme des Sachverständigenwesens für Straßenverkehrsunfälle. Teil I: Wissenschaftliche Grundlagen für die Arbeit des Verkehrsunfall-Sachverständigen. Köln u. Opladen: Westdeutscher Verlag 1966.
- Miyachi, Y.: Medicolegal studies on motor traffic accidents. Jap. J. leg. Med. **20**, 325 (1966).
- Prokop, O., Radam, G.: Rekonstruktion von Verkehrsunfällen aus gerichtsärztlicher Sicht. In: Handbuch der Verkehrsmedizin, herausgeg. von K. Wagner und H. J. Wagner, S. 952ff. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1968.
- Schmidt, G.: Unfallmechanismus bei Kopf-an-Kopf-Zusammenstößen im Straßenverkehr. Mschr. Unfallheilk. **71**, 170 (1961).

Professor Dr. med. G. Schmidt  
 Institut für gerichtliche Medizin der Universität  
 D-6900 Heidelberg, Voßstraße 2