

## 5.1 Der Fußgängerunfall

Fußgängerunfälle erfordern aufgrund der häufig schweren Verletzungsfolgen für den ungeschützten Verkehrsteilnehmer eine detaillierte Rekonstruktion. Im Allgemeinen sind dabei insbesondere die Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw, der Kollisionsort sowie das Bewegungsverhalten des Fußgängers zu rekonstruieren. Mit diesen Anknüpfungspunkten erfolgt anschließend die Vermeidbarkeitsbetrachtung. Die Kernfrage ist dabei, unter welchen Umständen der Unfall für die Beteiligten vermeidbar gewesen wäre.

Das vorliegende Kapitel gibt einen Überblick der Rekonstruktionsparameter für eine Fußgänger-Kollision. Es zeigt den derzeitigen Stand der Forschung und setzt sich kritisch mit klassischen Rekonstruktionsparametern auseinander; dabei werden dem Unfallanalytiker die Möglichkeiten und Grenzen der Parameter aufgezeigt.

In Deutschland begann man Ende der 1960er Jahre mit der Analyse von Fußgängerunfällen. Zum ersten Mal umfassend und systematisch wurde dieser Unfalltyp in der Dissertation von KÜHNEL [K1] behandelt. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analysen haben noch heute zum größten Teil Gültigkeit, sodass auf diese Arbeit häufiger Bezug genommen wird. Sämtliche in diesem Kapitel gezeigten Versuche wurden von der Firma Crashtest-Service.com [C1] zur Verfügung gestellt.

### 5.1.1 Dynamik des Unfallablaufs

#### 5.1.1.1 Prinzipieller Unfallablauf

Der dynamische Ablauf bei der Kollision Pkw-Fußgänger ist von zahlreichen Faktoren abhängig. Deshalb wird zuerst der Ablauf schematisch erläutert, um eine Vorstellung des komplexen Ablaufs zu erhalten. Es sind folgende Phasen zu unterscheiden, Abb. 5.1.1 [E1, K1]:

**Kontaktphase** Die erste Berührung zwischen Fußgänger und Pkw findet beim Frontanstoß mit dem Stoßfänger

statt. Die Kontaktkraft bewirkt eine translatorische und eine rotatorische Bewegung. Letztere beruht streng genommen auf dem durch den Hebelarm hervorgerufenen Moment. Je weiter der Anstoßpunkt vom Schwerpunkt des Fußgängers entfernt liegt, desto größer ist der Anteil der Rotation. Durch den Drehimpuls schlagen Brust und Kopf im Bereich der Motorhaube, des Scheibenrahmens, der Frontscheibe oder des Daches auf den Pkw. Dieser Teil der Kollision heißt auch **Primärstoß**.

**Flugphase** In der Kontaktphase wird der Fußgänger i.d.R. nahezu auf die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeugs beschleunigt, wenn der Pkw gebremst wird. Anschließend löst er sich im weiteren Bewegungsablauf vom Fahrzeug und befindet sich in der Flugphase. Bei höherer Kollisionsgeschwindigkeit und ungebremster Kollision ist es möglich, dass der Fußgänger unterfahren wird und hinter dem Fahrzeug in seine Endlage gelangt.

Nach der Flugphase prallt der Fußgänger auf die Fahrbahn (**Sekundärstoß**). Wenn der Fußgänger nach dem Sekundärstoß noch gegen ein Hindernis prallt, spricht man von einem **Tertiärstoß**.

**Rutschphase** Die Rutschphase umfasst die Erstberührung des Fußgängers mit der Straße bis zu dem Punkt, an dem er zur Endlage kommt.

Um eine Vorstellung vom realen Unfallablauf zu erhalten, zeigt Abb. 5.1.2 eine Prinzipskizze des Kontaktvorgangs bei einer Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw von 34 km/h und Abb. 5.1.5 eine Pkw-Dummy-Kollision, bei der ein bewegter Dummy (ca. 6 km/h) von einem Pkw mit einer Kollisionsgeschwindigkeit von 49 km/h erfasst wird. Der Erstkontakt findet zwischen dem Unterschenkel des Dummies und dem Front-Stoßfänger statt. Die Beine werden anschließend weggestoßen, wobei der Oberkörper zuerst noch aufrecht bleibt. Nach ca. 40 ms setzt die Rotation des Dummies ein. Der Kopfanprall erfolgt etwa nach 0,15 Sekunden [S6], [K2].

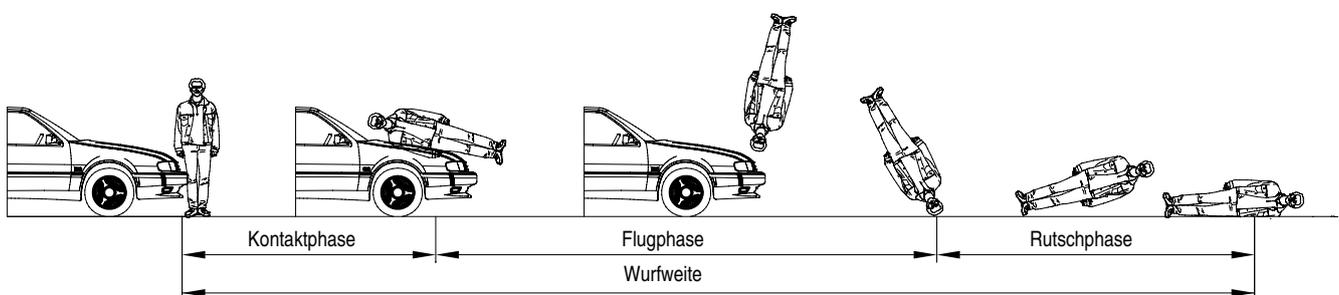


Abb. 5.1.1: Schematischer Ablauf einer Pkw-Fußgänger-Kollision in der Seitenansicht

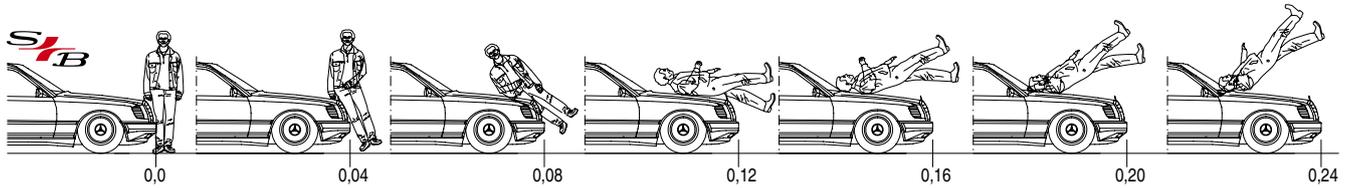


Abb. 5.1.2: Kontaktphase bei Pkw-Fußgänger-Kollision; Kollisionsgeschwindigkeit 34 km/h, gebremst, Abwicklung 2,0 m

Der Fußgänger wird nur dann vollständig auf den Pkw aufgeladen, wenn er voll und nicht streifend vom Pkw erfasst wird; bei einer Streifkollision überdecken sich die Pkw-Front und der Fußgänger nur teilweise oder gar nicht. Abhängig vom Überdeckungsgrad und der Fahrzeug-Geometrie wird der Fußgänger gar nicht oder nur teilweise auf die Motorhaube aufgeladen.

Des Weiteren muss die Front-Kontur des Pkw in Verbindung mit der Größe des Fußgängers ein Aufladen ermöglichen. Bei einer Kollision zwischen einem Lkw und einem Fußgänger oder einer Pkw-Kleinkind-Kollision resultiert ein differierender Unfallablauf, worauf in Abschnitt 5.1.2 noch näher eingegangen wird.

#### 5.1.1.2 Begriffsdefinitionen

Die bereits genormten Definitionen sind der DIN 75204 entnommen; die übrigen Quellen sind angegeben, Abb. 5.1.3:

**Längswurfweite** Die Längswurfweite bezeichnet den Abstand zwischen dem Kollisionsort und der Endlage des Fußgängers (Schwerpunkt) in Fahrtrichtung des Pkw. Die Längswurfweite addiert sich aus der Flug- und Rutschweite.

**Querwurfweite** Mit Querwurfweite wird der Abstand zwischen dem Kollisionspunkt am Fahrzeug und der End-

lage des Fußgängers quer zur Fahrtrichtung des Pkw bezeichnet.

**Beulenversatz** Bei einer Pkw-Fußgänger-Kollision finden i.d.R. zwei Kontakte statt: Zuerst stößt der Front-Stoßfänger gegen die Beine des Fußgängers bzw. die Haubenvorderkante kontaktiert Oberschenkel oder Becken. Der zweite Kontakt folgt, wenn der Kopf bzw. die Schulter nach dem Aufladen auf das Fahrzeug aufschlägt. Aus der Bewegungsgeschwindigkeit und Rotation des Fußgängers um die Hochachse resultiert ein Versatz zwischen dem ersten und zweiten Kontakt mit dem Pkw. In Fahrzeuquerrichtung wird diese Distanz als Beulenversatz bezeichnet.

**Abwicklung** Die dynamische Abwicklung bezeichnet die Strecke zwischen Bruchspitze und Fahrbahn, gemessen entlang der beschädigten Fahrzeugkontur, Abb. 5.1.6.

Als statische Abwicklung wird die von der Fahrbahn bis zur Lage des Kopfes auf der beschädigten Fahrzeugkontur abgewinkelte Fußgängergröße bezeichnet.

Zum Zeitpunkt der Vermessung am stehenden Fahrzeug ist das Fahrzeug jedoch ausgefedert, sodass sich die dynamische Abwicklung aus der Differenz zwischen gemessener Ab-

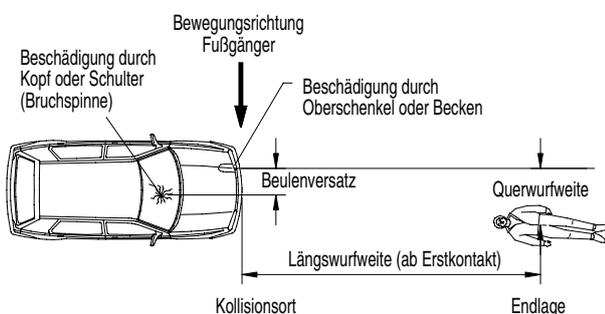


Abb. 5.1.3: Begriffsdefinitionen



Abb. 5.1.4: Beschädigungen aus Versuch Abb. 5.1.5

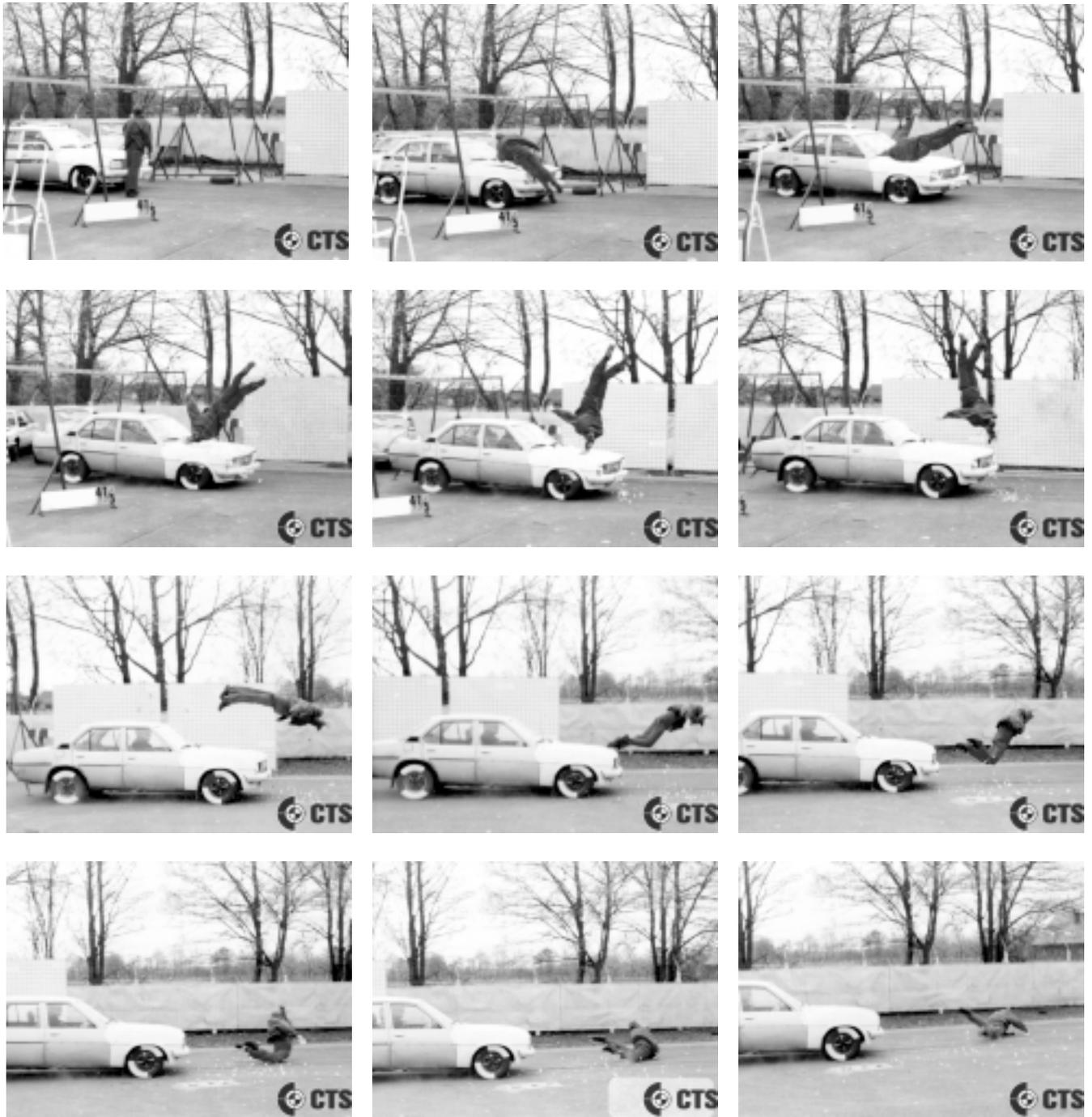


Abb. 5.1.5: Unfallablauf: Geschwindigkeit Pkw 49 km/h, Geschwindigkeit Dummy 6 km/h

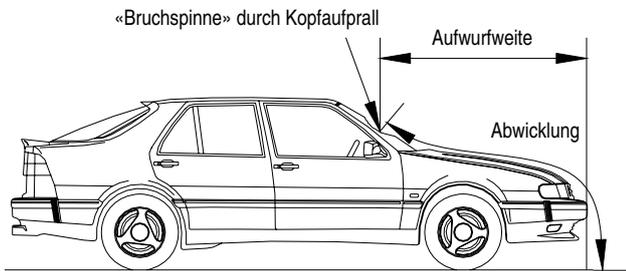


Abb. 5.1.6: Definition Abwicklung und Aufwurfweite

wicklungslänge und Eintauchtiefe der Front berechnet, wenn der Pkw zum Kollisionszeitpunkt gebremst war [D1]. Die Eintauchtiefe liegt i.d.R. bei 6 ... 10 cm.

**Aufwurfweite** Die Aufwurfweite bezeichnet den Abstand zwischen den Vertikalebene des vordersten Punktes des Fahrzeuges im Anstoßbereich und der Mitte der Kopfaufprallstelle.

Im Gegensatz zur Abwicklung ist die Aufwurfweite nicht um die Eintauchtiefe zu korrigieren, Abb. 5.1.6.

### 5.1.1.3 Geschwindigkeitsverlust des Pkw durch die Kollision

Der kollisionsbedingte Geschwindigkeitsverlust des Pkw ist aufgrund des großen Massenunterschiedes marginal. Mit Hilfe des Impulssatzes ist er bei einer genauen Berechnung jedoch zu berücksichtigen. Wenn das Fahrzeug im vollverzögerten Zustand mit dem Fußgänger kollidiert, ist die nachkollisionäre Kollisionsgeschwindigkeit exakt zu berechnen, wenn Auslaufstrecke und -verzögerung bekannt sind. Wird weiterhin davon ausgegangen, dass sich die Geschwindigkeit von Pkw und Fußgänger-Schwerpunkt vollständig angleichen, führt eine einfache Impulsbetrachtung zur Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw [K1]:

$$v_c = v'_c \cdot \left(1 + \frac{m_{ped}}{m_{veh}}\right) \quad (5.1.1)$$

$v_c$  Fahrzeuggeschwindigkeit vor der Kollision

$v'_c$  Fahrzeuggeschwindigkeit nach Kollision

$m_{veh}$  Masse des Fahrzeuges

$m_{ped}$  Masse des Fußgängers

KÜHNEL hat in seiner Dissertation ein etwas detaillierteres Rechenmodell entwickelt, demzufolge der Geschwindigkeitsverlust des Pkw geringer ist. Die nachkollisionäre Geschwindigkeit des Fußgängers ist demnach auch von der

Anstoßgeometrie abhängig, vgl. auch Tab. 5.1.1. Aufgrund des verwendeten einfachen Stabmodells ist diese Berechnung jedoch nicht sehr genau. Abb. 5.1.7 zeigt den Messschrieb einer Pkw-Dummy-Kollision. Bei einer Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw von 64,9 km/h ergab sich über die Kollisionsdauer von ca. 0,102 s ein Geschwindigkeitsverlust von 5,1 km/h; rechnerisch ergibt sich mit dem Impulssatz ein Geschwindigkeitsverlust von 5,2 km/h. Der Versuch zeigt demnach, dass der Geschwindigkeitsverlust mit einer vereinfachten Impuls-Betrachtung relativ gut einzugrenzen ist.

Bei einer exzentrischen Kollision zwischen Pkw und Fußgänger ist der Drehimpuls zu berücksichtigen. In diesem Fall errechnet sich die Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw folgendermaßen:

$$v_c = v'_c \left(1 + \frac{I_{ped}}{I_{ped} + l^2 \cdot m_{ped}} \frac{m_{ped}}{m_{veh}}\right) \quad (5.1.2)$$

mit  $I_{ped}$  als Massenträgheitsmoment des Fußgängers bezogen auf seinen Körperschwerpunkt und Abstand  $l$  zwischen Fußgängerschwerpunkt und Anstoßpunkt.

Näherungsweise ist für einen ca. 1,8 m großen Fußgänger ein Massenträgheitsmoment von 14 kgm<sup>2</sup> zu berücksichtigen [D2]. Der Abstand zwischen Fußgängerschwerpunkt und Erstkontakt in Stoßfängerhöhe liegt bei ca. 0,6 m.

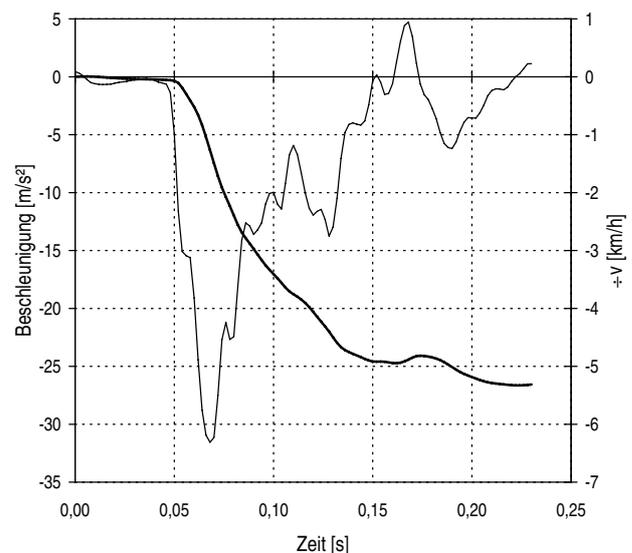


Abb. 5.1.7: Messschrieb einer Pkw-Dummykollision