

1.1 Der Pkw-Fußgänger Unfall

1.1.1 Einleitung

Pkw-Fußgänger-Unfälle 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 eine 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 Pkw-Fußgänger-Kollision. Es zeigt den derzeitigen Stand der Forschung und setzt sich kritisch mit klassischen Rekonstruktionsparametern auseinander; dabei werden dem Sachverständigen die Möglichkeiten und Grenzen der Parameter aufgezeigt.

In Deutschland begann man Ende der 60-er Jahre mit der Analyse von Pkw-Fußgänger-Unfällen. Zum ersten mal umfassend und systematisch wurde dieser Unfalltyp in der Dissertation von KÜHNEL [K1] behandelt. Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Analysen haben auch noch heute zum größten Teil Gültigkeit, so dass auf diese Arbeit häufiger Bezug genommen wird.

Sämtliche in diesem Kapitel gezeigten Versuche wurden von der Firma Crashtest-Service.com [C1] zur Verfügung gestellt.

1.1.2 Dynamik des Unfallablaufs

1.1.2.1 Prinzipieller Unfallablauf

Der dynamische Ablauf bei der Kollision Pkw-Fußgänger ist von zahlreichen Faktoren abhängig. Deshalb wird zuerst der Ablauf schematisch erläutert. Es sind folgende Phasen zu unterscheiden (Abb. 1.1.1)[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 ist der Fußgänger nahezu auf die Kollisionsgeschwindigkeit des Fahrzeuges beschleunigt worden. Anschließend löst er sich im weiteren Bewegungsablauf vom Fahrzeug und befindet sich in der Flugphase. Bei höheren Kollisionsgeschwindigkeiten und einer ungebremsten 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 Unfallablauf zu erhalten, zeigt die Abb. 1.1.2 eine Prinzipskizze des Kontaktvorgangs bei einer Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw von 34 km/h und die Abb. 1.1.5 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 mit dem Frontstoßfänger statt. Die Beine werden anschließend weggestoßen, wobei der Oberkörper zuerst noch aufrecht bleibt. Nach ca. 0,04 Sekunden kommt es zur Rotation des Dummy. Der Kopfanprall erfolgt etwa nach 0,15 Sekunden [S6].

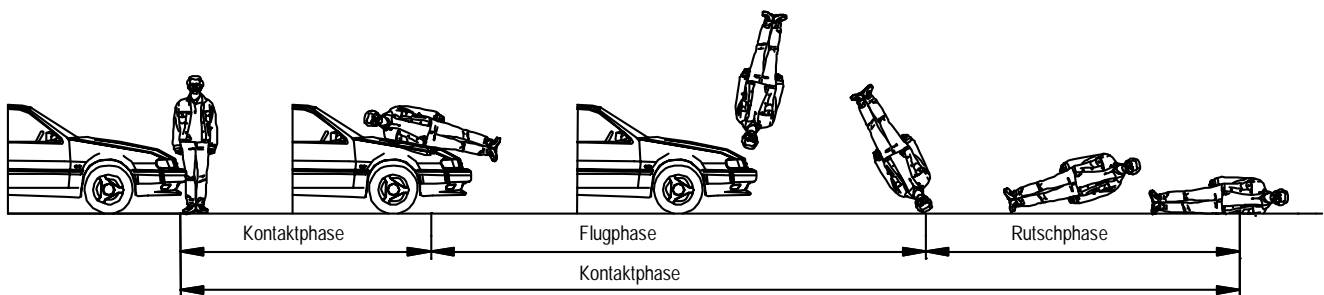


Abb. 1.1.1: Schematischer Ablauf einer Pkw-Fußgänger-Kollision in der Seitenansicht

Kollisionsgeschwindigkeit: $v_c = 34 \text{ km/h}$
 gebremst
 Abwicklung: 2,00 m

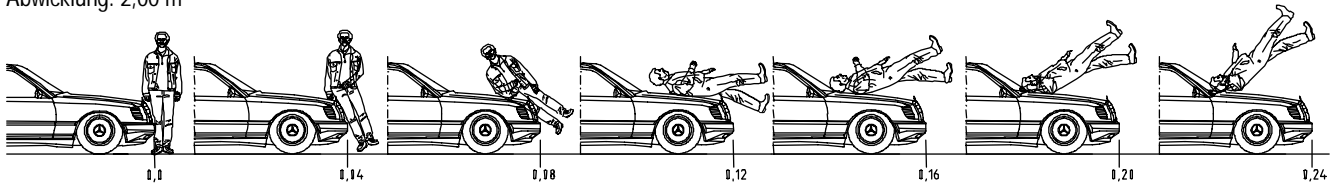


Abb. 1.1.2: Kontaktphase bei Pkw-Fußgänger-Kollision

Ein vollständiges Aufladen des Fußgängers auf den Pkw erfolgt nur, wenn der Fußgänger voll und nicht streifend vom Pkw erfasst wird; bei einer Streifkollision überdecken sich die Pkw-Front und der Fußgänger nur teilweise. In Abhängigkeit 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 im Kapitel 1.1.3 noch näher eingegangen wird.

1.1.2.2 Begriffsdefinitionen

Die bereits genormten Definitionen sind der DIN 75204 entnommen; die übrigen Quellen sind angegeben:

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 Ruschweite.

wurfweite addiert sich aus der Flug- und Ruschweite.

Querwurfweite Mit Querwurfweite wird der Abstand zwischen dem Kollisionspunkt am Fahrzeug und der Endlage des Fußgängers quer zur Fahrtrichtung des Pkw bezeichnet.

Beulenversatz Bei einer Pkw-Fußgänger-Kollision finden in der Regel zwei Kontakte statt: Zuerst stößt der Front-Stoßfänger gegen die Beine des Fußgängers. Der zweite Kontakt folgt, wenn der Kopf bzw. die Schulter nach dem Aufladen auf das Fahrzeug aufschlägt. In Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeiten von Fußgänger und Pkw resultiert ein Versatz zwischen dem ersten und zweiten Kontakt. In Fahrzeugquerrichtung wird diese Distanz als Beulenversatz bezeichnet.

Abwicklung Die dynamische Abwicklungslänge bezeichnet den Abstand zwischen der Fahrbahnoberfläche und der Kopfaufprallstelle entlang der Fahrzeugkontur. Ein möglicher Beulenversatz wird bei dieser Strecke vernachlässigt; die Abwicklung ist deshalb an einem zweidimensionalen Modell bestimmbar. Dabei ist zu beachten, dass die Vorderkante der Motorhaube bei einer Vollbremsung eintaucht.

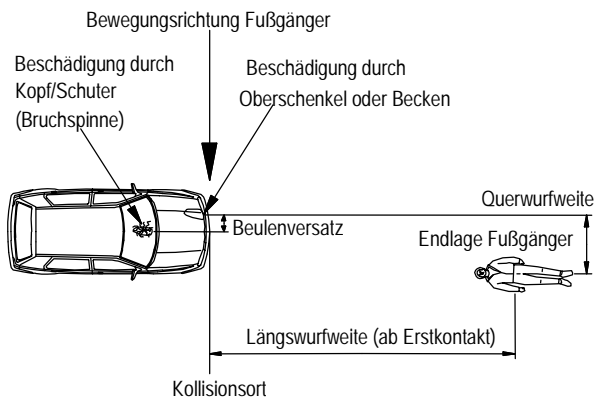


Abb. 1.1.4: Begriffsdefinitionen



Abb. 1.1.3: Beschädigungen aus Versuch Abb. 1.1.5

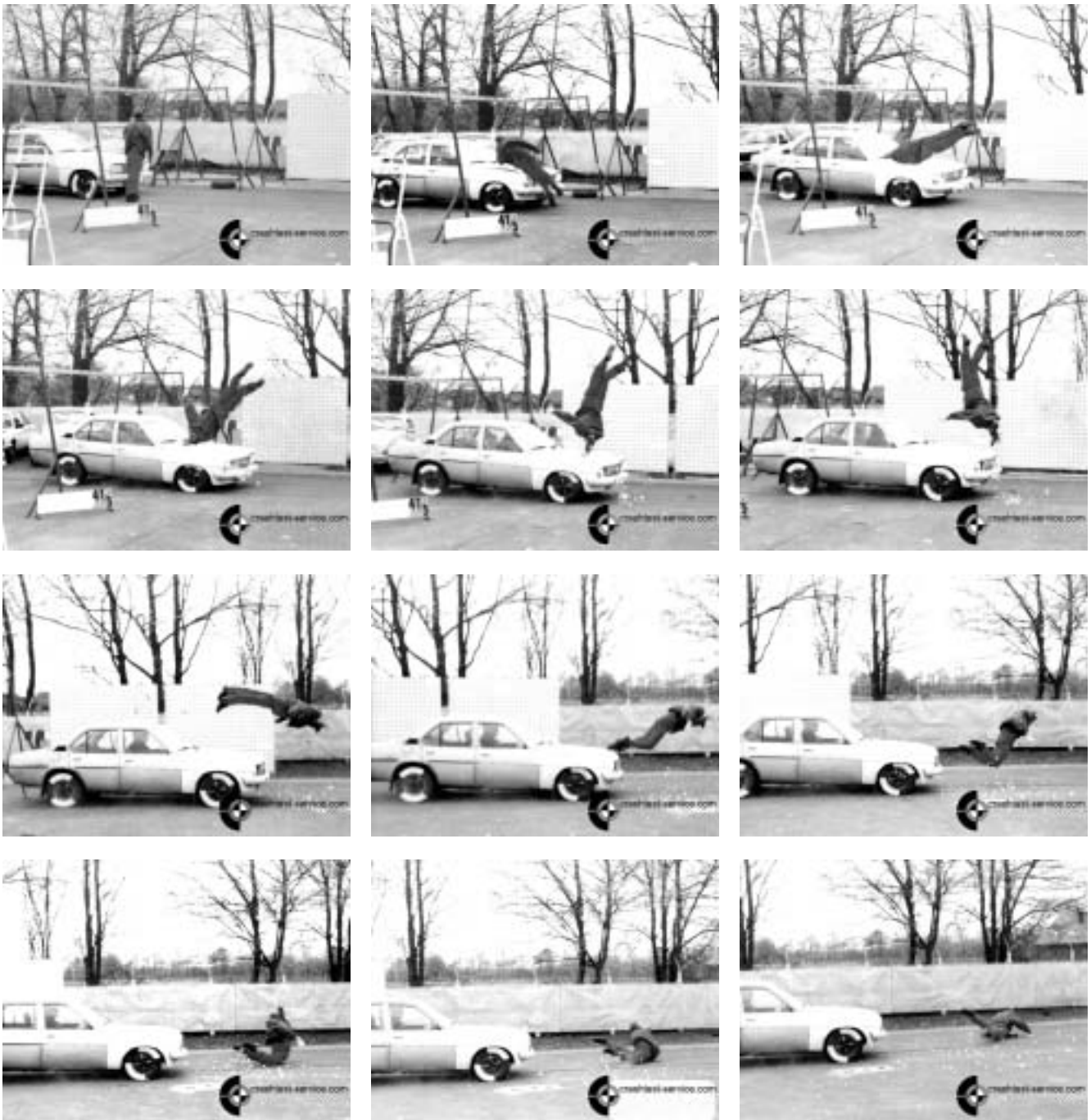


Abb. 1.1.5: : Unfallablauf: Geschwindigkeit Pkw 49 km/h , Geschwindigkeit Dummy 6 km/h

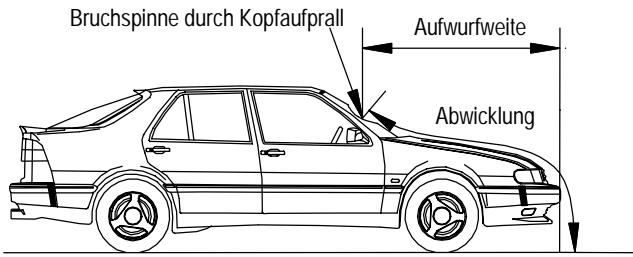


Abb. 1.1.6: Definitionen Abwicklung und Aufwurfweite

Zum Zeitpunkt der Vermessung am stehenden Fahrzeug ist das Fahrzeug jedoch ausgefedert, so dass sich die dynamische Abwicklung aus der Differenz zwischen gemessener Abwicklungslänge und Eintauchtiefe der Front berechnet, wenn der Pkw zum Kollisionszeitpunkt gebremst war [D1]. Die Eintauchtiefe liegt in der Regel zwischen 6 und 10 cm.

Als statische Abwicklung wird die abgewinkelte Fußgängergröße entlang der Fahrzeugkontur bezeichnet. Diese reduziert sich gegenüber der Körpergröße um den Kopfradius.

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

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

1.1.2.3 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. Wird weiterhin davon ausgegangen, dass sich die Geschwindigkeit von Pkw und Fußgänger-Schwerpunkt vollständig angleichen, führt eine einfache Impulsbetrachtung zur Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw [K1]:

$$v_c = v'_c \cdot \left(1 + \frac{m_{ped}}{m_{veh}} \right) \quad (1.1.1)$$

v_c : Fahrzeuggeschwindigkeit vor der Kollision

v'_c : Fahrzeuggeschwindigkeit nach Kollision

m_{veh} : Masse des Fahrzeuges

m_{ped} : Masse des Fußgängers

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

$$v_c = v'_c \cdot \left(1 + \frac{\Theta_{ped} \cdot m_{ped}}{(\Theta_{ped} + l^2 \cdot m_{ped}) \cdot m_{veh}} \right) \quad (1.1.2)$$

Θ_{ped} : Massenträgheitsmoment des Fußgängers bezogen auf seinen Körperschwerpunkt

l : Abstand zwischen Fußgängerschwerpunkt und Anstoßpunkt

Näherungsweise ist für einen ca. 1,8 m großen Fußgänger ein Massenträgheitsmomente von 14 kgm² zu berücksichtigen [D2]. Der Abstand zwischen Fußgängerschwerpunkt und Anstoßpunkt liegt bei einem Ponton-Fahrzeug bei ca. 0,6 m.

1.1.3 Einflussfaktoren auf den Kollisionsablauf

In Anlehnung an SCHLUMPF [S2] ist bei den Einflussfaktoren zwischen signifikanten, weniger signifikanten und zufälligen Einflüssen zu unterscheiden. Als signifikante Faktoren gelten:

- Kollisionsgeschwindigkeit
- Bewegungsgeschwindigkeit des Fußgängers
- Fahrzeugkontur
- Körpergröße
- Fahrzeugverzögerung.

Zu den weniger signifikanten Einflüssen gehören:

- Beinstellung bei Kollisionsbeginn
- Armbewegung.

Die Reflexreaktion des Fußgängers ist ein zufälliger Einfluß.

1.1.3.1 Signifikante Einflüsse

Kollisionsgeschwindigkeit Pkw

Da das Fahrzeug den größeren Impuls in die Kollision einbringt, ist sein Einfluss auf den Bewegungsablauf des Fußgängers entscheidend. Proportional zur Anfahrtschwindigkeit wächst die Wurfweite, da mit höheren Geschwindigkeiten des Fahrzeuges auch ein größerer Teil kinetische Energie beim Stoß übertragen wird.

Abb. 1.1.7 zeigt, dass sich fast 84% aller Pkw-Fußgänger-Unfälle in einem Geschwindigkeitsintervall zwischen 20 und 60 km/h ereignen.