

Karl-Heinz Schimmelpfennig*
Uwe Golder**

Die Bedeutung einer Blockierspurverdickung bei Fußgängerunfällen – Erstkontaktverlagerung –

Zusammenfassung

Bei Fußgängerunfällen bilden sich in den Blockierspuren des Pkw verschiedentlich Spurverdickungen aus. Häufig wird darauf geschlossen, daß die Spurverdickungen die Position der Pkw Vorderachse zum Kollisionszeitpunkt festlegen. In dieser Arbeit wird über einen Fußgänger-Dummy/Pkw-Versuch berichtet, bei dem festgestellt wurde, daß die Spurverdickung erst eine Folge des Schulteraufpralls des Dummy auf die Motorhaube ist. Dieser liegt zeitlich nach dem Erstkontakt. Für die Bestimmung des Kollisionsortes hat dieses eine räumliche Verlagerung vor die Spurverdickung zur Folge. Bei der Vermeidbarkeitsbetrachtung kann sich dieses zugunsten des Pkw-Fahrers auswirken, da juristisch die Lage des Erstkontaktes und nicht die Lage einer Spuranomalie interessant ist.

Summary

In accidents involving pedestrians, thickenings variously occur in the tyre marks of the locked wheels of the car. It is frequently concluded that the thickening indicates the position of the vehicle's front axle at the moment of collision. This paper describes experiments using a dummy pedestrian and a car, in which it was found that the thickening of the tyre marks only occurs as a result of the impact of the dummy's shoulder on the car bonnet. This is after the initial contact. This means that the actual point of a collision is before the thickening of the tyre marks. This fact may have positive implications for the driver of the vehicle when the question of avoidability of the accident is being considered, as from a legal point of view the place of initial contact is of interest and not the position of a tyre mark anomaly.

Problemdarstellung

Der zentrale Punkt bei Fahrzeug/Fußgänger-Kollision betrifft die Vermeidbarkeit des Unfalls durch den Fahrzeugführer.

Sofern sich die Unfälle bei Tageslicht ereignen, werden von den Fahrzeugen in der Regel Blockierspuren gezeichnet, die Grundlage für die Geschwindigkeitsrückrechnung und Rekonstruktion des Reaktionsortes sind. Eine entscheidende Einflußgröße bei der Vermeidbarkeitsbetrachtung stellt die Lage des Kollisionsortes in bezug zum Reaktionsort dar, insbesondere wenn eine überhöhte Ausgangsgeschwindigkeit des Fahrzeuges vorliegt. Zwischen dem Betrag der Geschwindigkeitsüberschreitung und dem Abstand Kollisionsort/Reaktionsort können Konstellationen entstehen, bei denen eine ein oder zwei Meter größere Entfernung zwischen Kollisions- und Reaktionsort über die räumliche Vermeidbarkeit des Unfalles entscheidet (Bild 1). In dem Beispiel A wäre ein Stillstand des Fahrzeuges bei Einhaltung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit direkt vor dem Kollisionsort möglich gewesen, in dem anderen Fall wäre der Pkw erst 2 m hinter dem Kollisionsort zum Stillstand gekommen und der Fußgänger wäre noch mit einer Geschwindigkeit von 19 km/h erfaßt worden. Zudem hätte das Fahrzeug den Kollisionsort nur mit einem Zeitverzug von 0,7 s erreicht. Hierdurch kann sich eine für den beschuldigten Pkw-Fahrer günstigere Beurteilung der zeitlichen Vermeidbarkeit einstellen.

Der Festlegung des Kollisionsortes kommt für das Ergebnis der Vermeidbarkeitsbetrachtung somit eine große Bedeutung zu. Je nach Lage des Kollisionsortes in bezug zum Spurbeginn und zur Spurlänge kann der Festlegung des Kollisionsortes eine größere Bedeutung zukommen, als der Veränderung der Blockierbremsverzögerung von 7 m/s² auf 8 m/s².

*Dipl.-Ing. (TU) Karl-Heinz Schimmelpfennig, öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle;
**Dipl.-Ing. Uwe Golder, Sachverständiger im Ing.-Büro Schimmelpfennig und Becke, Münsterstraße 101, 4400 Münster-Wolbeck

Bei Unfällen mit Fußgängern werden häufig Verdickungen in den Blockierspuren des Pkw festgestellt. Bild 2 zeigt hierfür zwei typische Verkehrsunfallskizzen. Es wird vermutet, daß in diesem Bereich der Fußgänger vom Pkw erfaßt wurde. Bei einer anschließenden Rekonstruktion des Unfalles wird häufig vorausgesetzt, daß der Beginn der Spurverdickung mit der Position der Pkw-Vorderachse zum Kollisionszeitpunkt identisch ist.

Bisher gibt es noch keine veröffentlichte Untersuchung darüber, ob diese Annahme auch tatsächlich zutreffend ist. Vergegenwärtigt man sich nochmals die anhand von Bild 1 ausgeführten Zusammenhänge zwischen Kollisionsort und Ergebnis der Vermeidbarkeitsbetrachtung, wird deutlich, auf welcher bisher nicht belegten Annahme die Rechtsprechung in solchen Fällen aufbaute. In der vorliegenden Veröffentlichung wird über einen Versuch berichtet, bei dem der Frage nachgegangen wird, ob der Beginn der Spurverdickung tatsächlich den Kollisionsort angibt.

2 Allgemeines zum Kollisionspunkt

Bei der Geschwindigkeitsrückrechnung und der Vermeidbarkeitsbetrachtung bezieht man sich jeweils auf einen festzulegenden Kollisionspunkt. Man trifft die vereinfachte Annahme, daß die Kollision in unendlich kurzer Zeit stattfindet. Aus Filmauswertungen über Kollisionsabläufe ist bekannt, daß die Kontaktphase zwischen den Kollisionspartnern Bruchteile von Sekunden dauert. Streng genommen darf deshalb nicht von einem Kollisions- oder Kontaktpunkt, sondern nur von einer Phase gesprochen werden. Größenordnungsmäßig nimmt die Kollisionsphase einen Zeitraum von etwa 0,15 s bis ca. 0,2 s ein.

Da die Kollisionsphase Zeit in Anspruch nimmt, wird zwangsläufig aufgrund der Eigengeschwindigkeit während der Kontaktphase auch ein Weg zurückgelegt. Bei einer mittleren Geschwindigkeit von 50 km/h während einer 0,15 s dauernden Kollisionsphase würde bereits ein Weg von 2,1 m zurückgelegt.

Für die Geschwindigkeitsrückrechnung bei Fahrzeug/Fahrer-Kollisionen wird der Moment betrachtet, in dem die größten Kräfte zwischen den Kollisionspartnern wirken, also der Hauptimpuls ausgetauscht wird. Da zunächst Zeit benötigt wird, um den Hauptimpuls aufzubauen, liegt dieser betrachtete Moment nicht am Beginn der Kollisionsphase. Nach Entstehung des Hauptimpulses wird dieser nicht schlagartig abgebaut, sondern auch hier vergeht wieder ein kurzer Zeitraum, so daß der Hauptimpulsaustausch auch nicht mit dem Kontaktende gleichzusetzen ist.

Für die technische Analyse der Kollisionsphase ist der Moment des größten Impulsaustausches wichtig; für die juristische Beurteilung aber ist dieser Moment völlig unbedeutend. Dort ist der Moment des Erstkontaktes der entscheidende Punkt, auf den die Vermeidbarkeitsbetrachtung abzustellen ist.

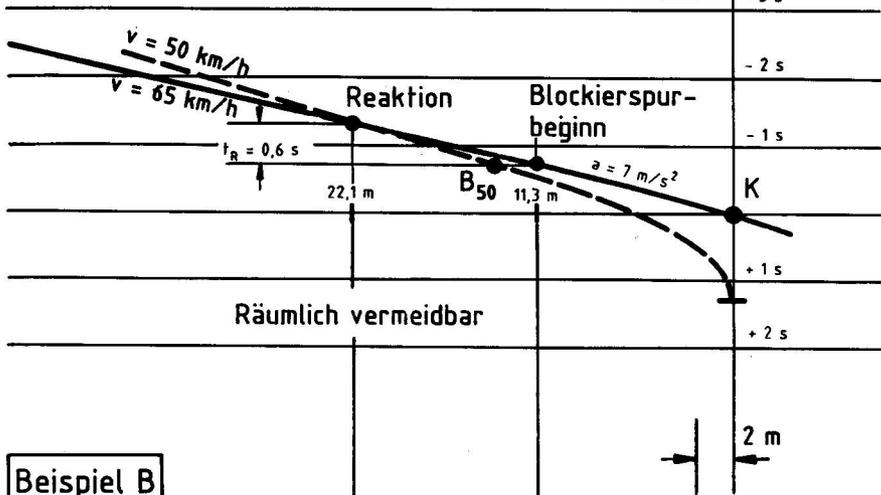
3 Theoretische Betrachtung bei einem Fußgängerunfall

Speziell bei einem Fußgängerunfall, bei dem sich Verdickungen in der Blockierspur des Pkw ausgebildet wäre zu klären, ob diese Art der Spuranomalien tatsächlich den juristisch bedeutenden Moment des Erstkontaktes festlegen oder einen zeitlich danach liegenden Moment während der Kollisionsphase.

Eine Spurverdickung in einer ansonsten normal gezeichneten Blockierspur zeigt an, daß eine kurze außergewöhnlich hohe Reifenbelastung vorlag. Durch eine zusätzliche vertikale Vorderachsbelastung werden für einen kurzen Zeitraum die Vorderräder zu einer verstärkten Spurzeichnung veranlaßt. Fest steht, daß für die Spurverdickung die Kollision mit dem Fußgänger verantwortlich ist, nur ist unbekannt, zu welchem Zeitpunkt der Kollisionsphase diese Spurverdickung entsteht.

Beispiel A

Kollision 11,3 m nach Spurbeginn



Beispiel B

Kollision 9,3 m nach Spurbeginn

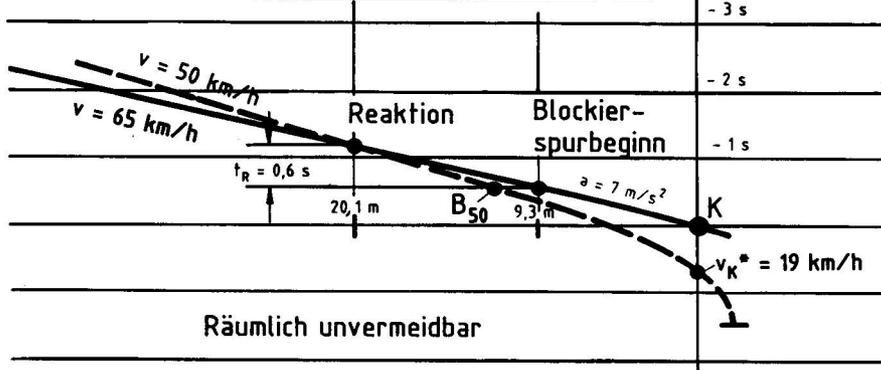
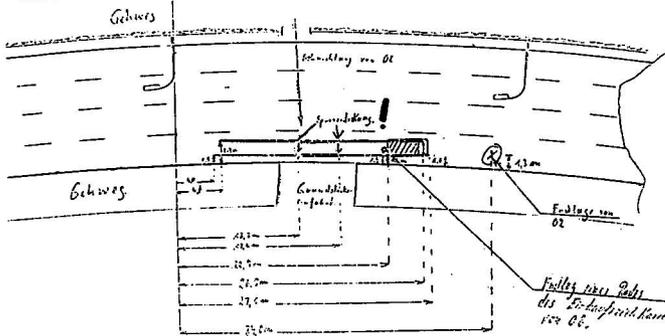
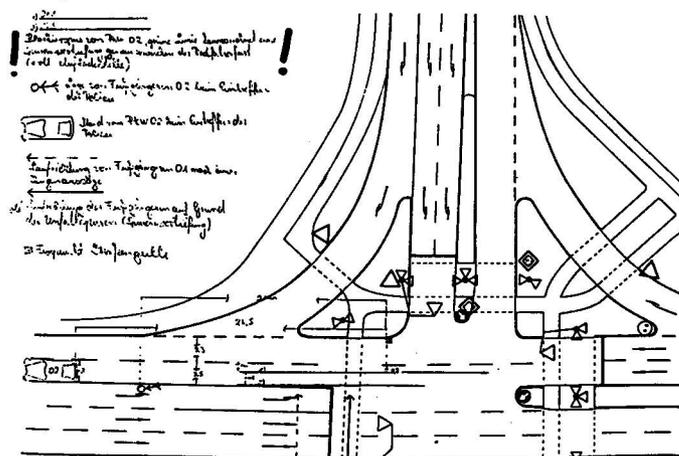


Bild 1 Einfluß des Kollisionsortes auf die Vermeidbarkeit
Fig. 1 Influence of the locus of collision on avoidability

Skizze 1



Skizze 2



Das Bewegungsverhalten eines Fußgängers relativ zur Front eines pontonförmigen Fahrzeuges während der Kollisionsphase geht aus **Bild 3** hervor. Im Moment des Erstkontaktes zwischen Stoßstange und Unterschenkel bzw. Haubenvorderkante und Oberschenkel wirkt nur eine Horizontalkraft auf den Pkw. Erst wenn der Oberkörper des Fußgängers im Zeitraum 0,1 s bis 0,15 s nach Kollisionsbeginn auf die Haube schlägt, wird der Vorderwagen durch eine Vertikalkraft belastet.

Diese Feststellung läßt vermuten, daß erst durch den Schulteraufprall auf die Motorhaube die Spurverdünnung entsteht und der Erstkontakt somit zeitlich davor liegt.

Für die Festlegung des Kollisionsortes hat dieses zur Konsequenz, daß dieser gegenüber der Spurverdünnung räumlich vorzulagern ist. Der Betrag der Vorverlagerungsstrecke ist abhängig vom Geschwindigkeitsniveau während der Kollisionsphase.

4 Versuch

4.1 Versuchsdurchführung

Um diese theoretisch hergeleiteten Feststellungen zu überprüfen, wurde eine Fahrzeug/Dummy-Kollision durchgeführt. Der Dummy wurde im Bereich des rechten Frontscheinwerfers von einem pontonförmigen Pkw im vollgebremsten Zustand erfaßt. Die Position der Pkw-Vorderachse zum Kollisionszeitpunkt wurde vor dem Versuch auf der Fahrbahn markiert (**Bild 4**).

Bild 2 Typische Feststellungen in den Verkehrsunfallskizzen
Fig. 2 Typical ascertainments in sketches of traffic accidents

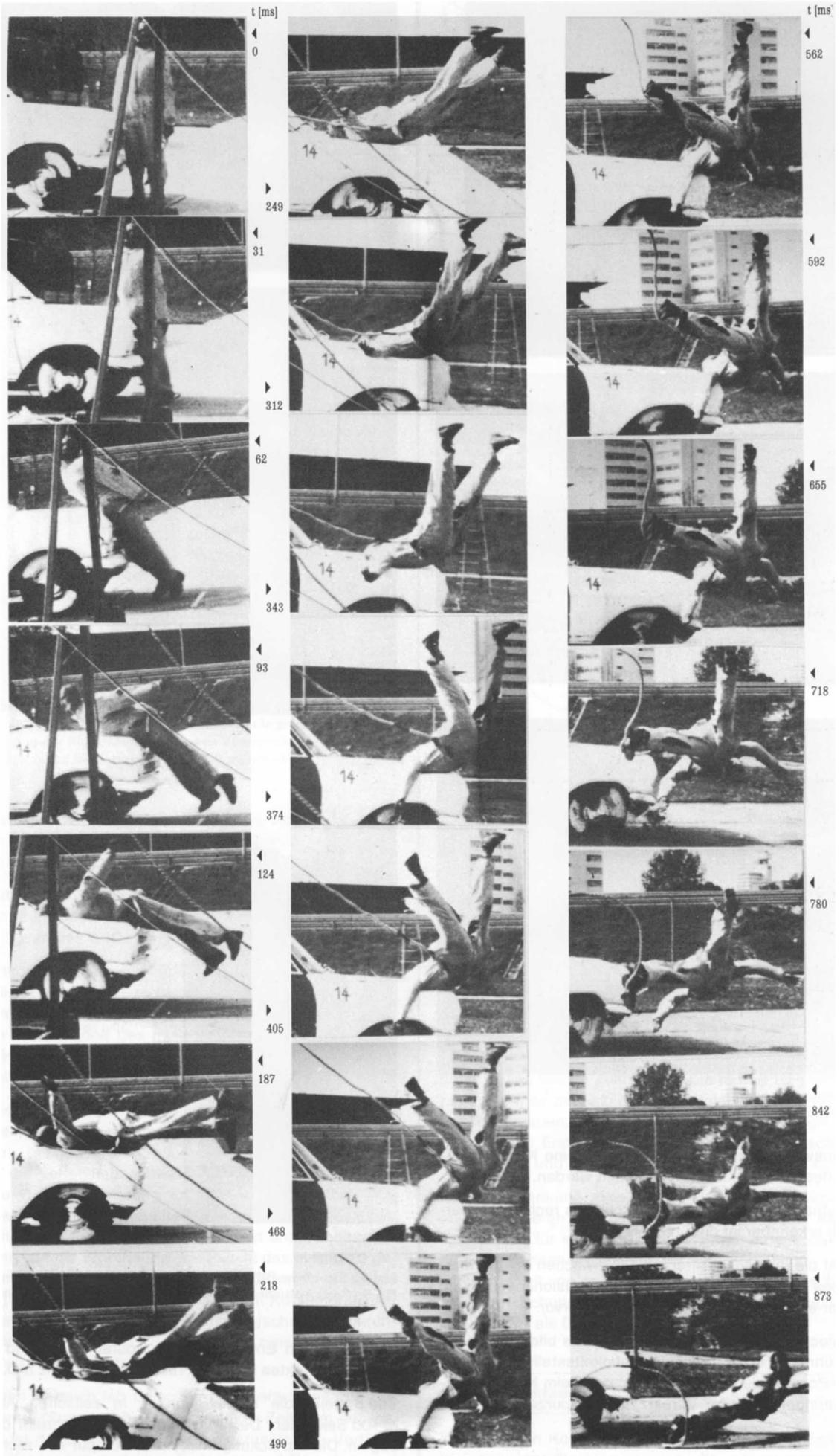


Bild 3 Bewegungsablauf eines von einem Pkw voll erfaßten Fußgängers nach [1]

Fig. 3 Motion of a pedestrian fully pushed by a passenger car



Bild 4 Versuchsanordnung
Fig. 4 Experimental arrangement

Aus der Filmauswertung konnte im nachhinein eine Kollisionsgeschwindigkeit des Pkw von 38 km/h bestimmt werden.

Bild 5 zeigt Aufnahmen von der Blockierspur des rechten Vorderrades. Deutlich erkennbar ist die Spurverdickung.

Aus **Bild 6** geht die räumliche Differenz ΔD zwischen der markierten Position des rechten Vorderrades beim Kollisionsbeginn und dem Beginn der entstandenen Spurverdickung hervor.

Auch in der Blockierspur des linken Vorderrades bildete sich bei dem durchgeführten Versuch eine Unstetigkeitsstelle aus. Etwa 2 m hinter der Position des linken Vorderrades beim Kollisionsbeginn lag ein geringer seitlicher Versatz in der Spurzeichnung vor (**Bild 7**).

4.2 Diskussion der Versuchsergebnisse

Der Versuch bestätigte die vorherigen theoretischen Ausführun-



Bild 5 Verdickung in der Blockierspur des rechten Vorderrades
Fig. 5 Broadening of the block trace of the right front wheel



Bild 6 Räumliche Differenz zwischen Kollisionsbeginn und Spurverdickung
Fig. 6 Spatial distance between begin of collision and broadening of the block trace

gen. Zwischen Entstehung der Spuranomalie und dem Moment des Erstkontaktes liegt eine räumliche Differenz ΔD .

Bild 8 zeigt die Kollisionsphase in zeitlichen Abständen von 4/100 Sekunden. Der Zeitpunkt $t = 0$ beschreibt den Kollisionsbeginn. Die Verdickung in der Blockierspur des rechten Vorderrades entstand erst kurz hinter der in Lichtbild 4 festgehaltenen Pkw-Position. Das rechte Vorderrad befand sich erst 0,13 s nach

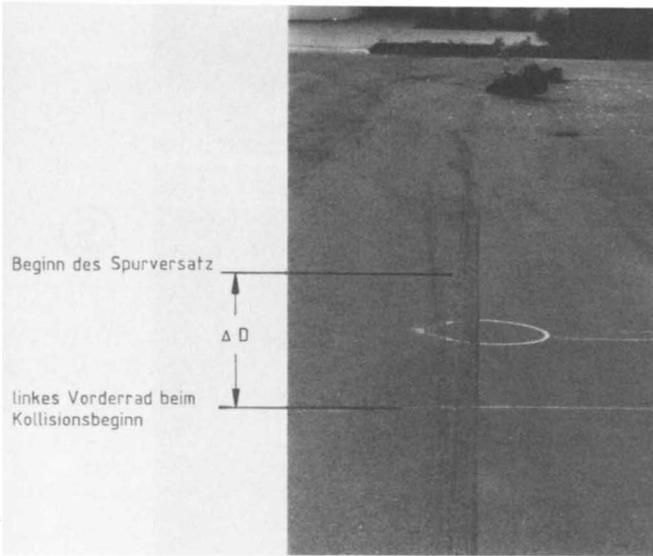


Bild 7 Spurversatz in der Blockierspur des linken Vorderrades
Fig. 7 Discontinuity in the block trace of the left front wheel

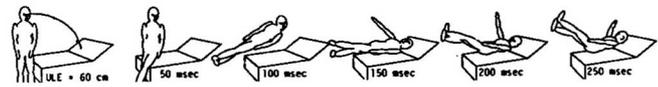
dem Kollisionsbeginn an der Stelle, an der die verstärkte Spurzeichnung des rechten Vorderrades einsetzte. Dieses war zeitlich kurz nach dem Schulteraufprall des Dummy auf die Motorhaube.

Der Spurversatz in der linken Vorderradspur bildete sich zeitlich und somit auch räumlich noch etwas später aus. Bei dem durchgeführten Versuch war dies 0,19 s nach dem Erstkontakt.

Von einer Zeitkonstanten zwischen Erstkontakt und Beginn der Spurenanomalie kann jedoch nicht ausgegangen werden. Verschiedene Parameter beeinflussen diese Zeitspanne; so z.B. das Verhältnis von Haubenhöhe des Pkw und der Schwerpunkt des Fußgängers, Frontform des Pkw, Kollisionskonstellation (ob seitlich oder von hinten getroffen) und die Kollisionsgeschwindigkeit.

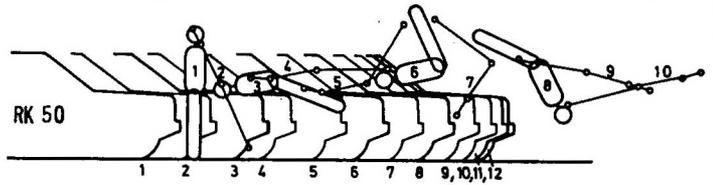
Bild 9 zeigt aus verschiedenen Literaturstellen [2, 3, 4] das durch mathematische Simulationen gewonnene Bewegungsverhalten von Fußgängern, bei denen der Einfluß der zuvor angesprochenen Parameter auf die Verletzungsschwere der Fußgänger untersucht wurde. Für die Geometriepaarung Erwachsener-Dummy/pontonförmiger Pkw wurden aus diesen Literaturstellen die ausgewerteten ungefähren Zeiträume zwischen Erstkontakt und Schulteraufprall des Dummy auf die Fronthaube des Pkw in das in **Bild 10** gezeigte Diagramm übertragen. Zusätzlich berücksichtigt wurde auch die in [5] angegebenen Zeiträume bis zum Kopfaufprall. Der Geschwindigkeitseinfluß auf den Zeitraum zwischen Erstberührung und Schulteraufprall wird deutlich. Mit zunehmender Geschwindigkeit wird dieser Zeitraum geringer.

Bei dem eigenen Versuch lag zwischen Schulteraufprall und Beginn der Spurverdickung noch ein sehr kurzer Zeitraum von ca. 0,01 s. Dieses ist damit zu erklären, daß die zusätzliche Vertikalbelastung der Karosserie erst über Federung und Dämpfung auf die Radaufhängung und den Reifen übertragen werden mußten.

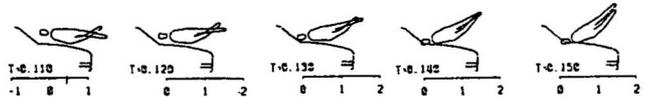


aus [2]

$$t_u = 0, 60, 150, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800,$$



aus [3]



aus [4]

Bild 9 Bewegungsablauf eines Dummy aus rechnerischer Simulation
Fig. 9 Motion of a dummy calculated by numerical simulation

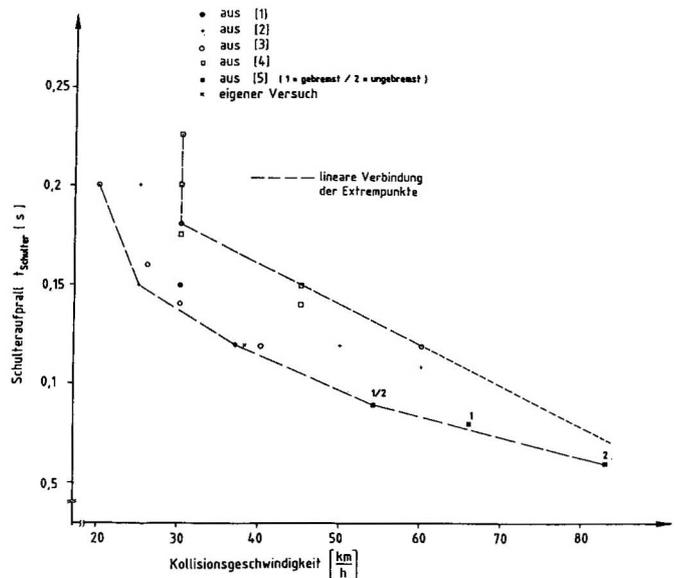


Bild 10 Zeit bis Schulteraufprall
Fig. 10 Time interval until bounce with shoulder

Da aus den einzelnen in [2, 3, 4] wiedergegebenen Bewegungsabläufen nur der ungefähre Zeitpunkt des Schulteraufpralls bestimmt werden konnte erübrigt sich eine zusätzliche Berücksichtigung dieses kurzen Zeitraumes. Die in Bild 10 angegebenen Zeiträume können deshalb nur als ungefähre Anhaltspunkte dafür angesehen werden, welche Zeiträume zwischen Beginn der Spurverdickung und Erstkontakt bei einer Kollision zwischen Erwachsenen-Dummy und pontonförmigen Pkw in Betracht zu ziehen sind.

Kürzere Zeiträume auch bei niedrigeren Geschwindigkeiten können bei anderen Geometriepaarungen vorliegen. **Bild 11** verdeutlicht dieses für eine Kollision zwischen einem VW-Käfer und einem Erwachsenen-Dummy, bei der der Dummy mit einer Geschwindigkeit von ca. 47 km/h erfaßt wurde. Zwischen Erstberührung und Schulteraufprall lag bei diesem Versuch ein Zeitraum von weniger als 0,1 s.

5 Zusammenfassung

Werden nach Kollisionen zwischen Pkw und Fußgängern Verdickungen in den Blockierspuren des Pkw festgestellt, so geben diese Verdickungen nicht den Moment des Erstkontaktes wieder.

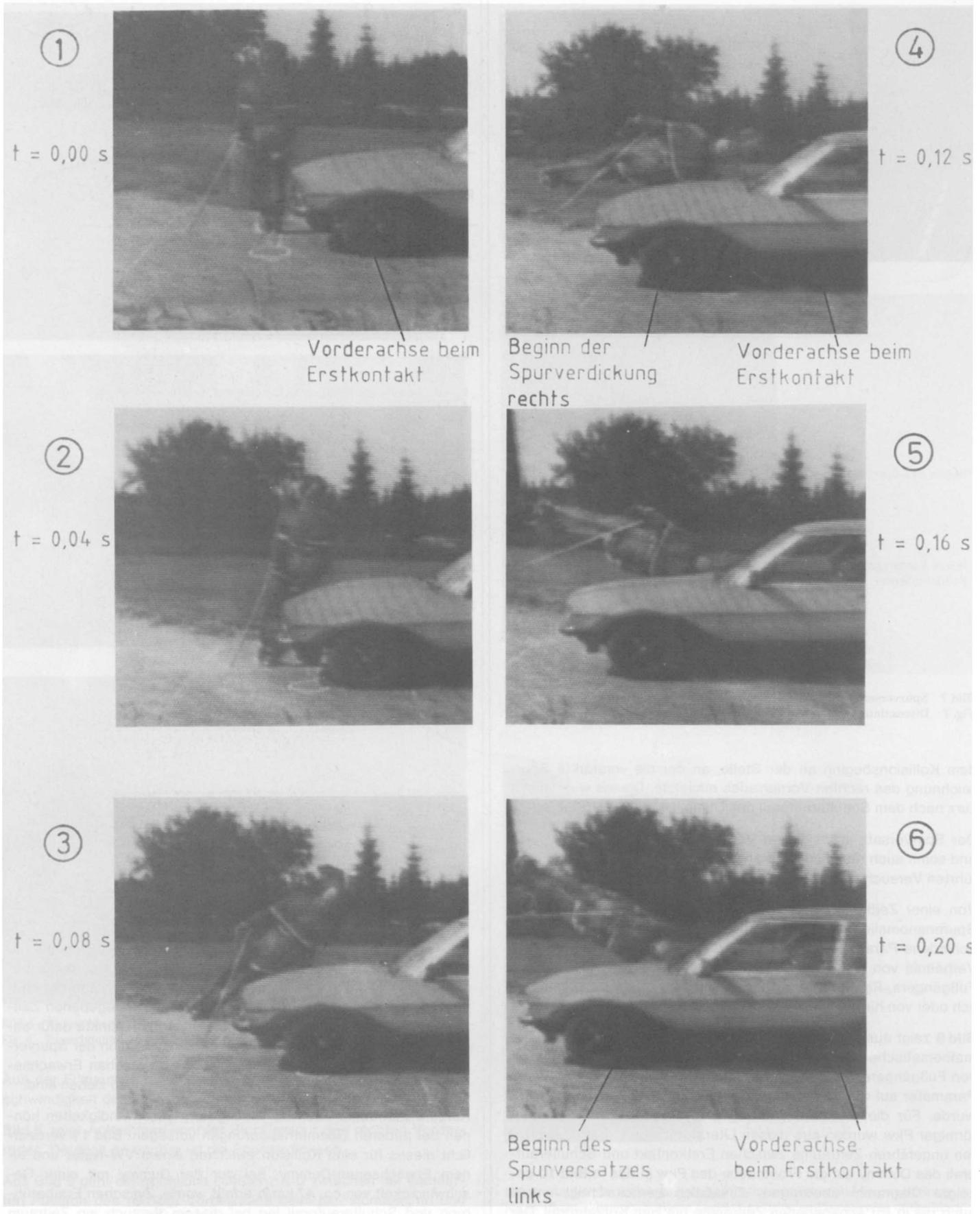


Bild 8 Kollisionsphase

Fig. 8 Collision phase

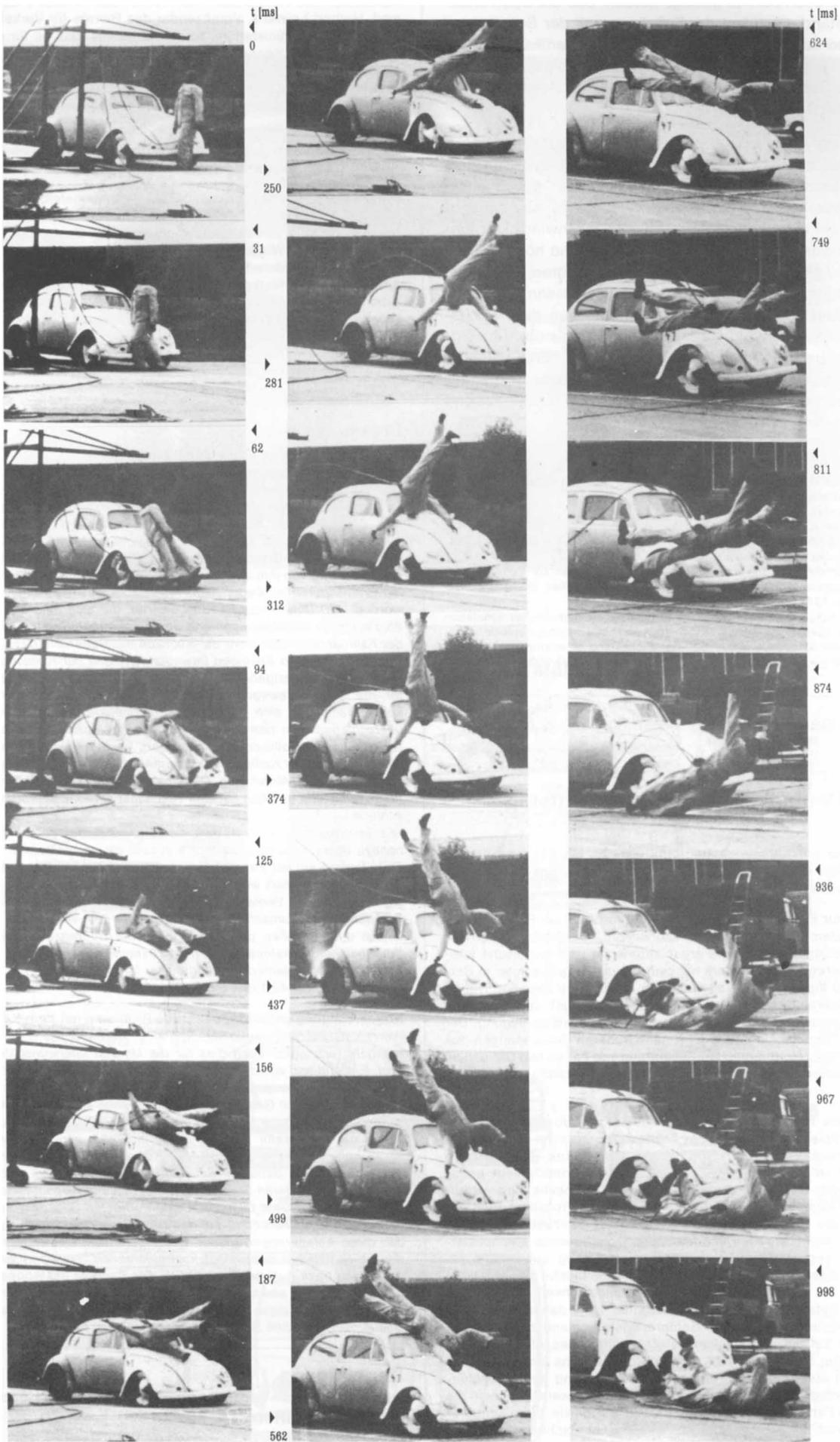


Bild 11 Bewegungsablauf eines von einem VW voll erfaßten Fußgängers nach [1]
Fig. 11 Motion of a pedestrian fully pushed by a VW

Durch einen Versuch konnte gezeigt werden, daß die Spurverdickung erst entstand, nachdem der Fußgänger mit der Schulter auf die Motorhaube aufschlug und eine zusätzliche Vertikalbelastung der Vorderachse hervorrief. Zwischen dem Erstkontakt und dem Beginn der Spurverdickung lag bei dem durchgeführten Versuch ein Zeitraum von 0,13 s.

Eine Auswertung verschiedener Literaturstellen führte zu dem Ergebnis, daß der Zeitraum zwischen Erstberührung und Schulteraufprall nicht konstant ist, sondern unter anderem von der Kollisionsgeschwindigkeit beeinflußt wird. Geringere Kollisionsgeschwindigkeit als die eingehaltene Versuchsgeschwindigkeit führen zu einer Verlängerung des Zeitraumes, während höhere Kollisionsgeschwindigkeiten zu einer Verkürzung führen. Auch die Geometrie der Paarung Fußgänger/Pkw beeinflußt diesen Zeitraum. Als Ergebnis dieser Arbeit kann festgehalten werden, daß bei Ausbildung von Verdickungen in Blockierspuren der für die Vermeidbarkeitsbetrachtung bedeutsame Moment des Erstkontaktes räumlich vorverlagert werden muß. Lag eine überhöhte Ausgangsgeschwindigkeit des Fahrzeuges vor, so kann sich diese Feststellung zugunsten des Pkw-Fahrers auswirken.

Literaturnachweis

- [1] Kühnel, A., Rau, H.: Der Zusammenstoß Fahrzeug-Fußgänger unter Berücksichtigung der Eigenbewegung des Fußgängers, der Verkehrsunfall, Heft 1, 3-11, (1974)
- [2] Interdisziplinäre Arbeitsgruppe für Unfallmechanik Universität und ETH Zürich: Auto-Fußgängerkollision; Verletzungsreduktion, Unfallrekonstruktion, mathematische und experimentelle Simulation (1975)
- [3] Wolff, C.: Rechnerische und experimentelle Untersuchungen zur Verminderung der Verletzungsschwere bei Kraftfahrzeug-Fußgänger-Unfällen, Dissertation TU Braunschweig, 1977
- [4] Glöckner, H.: Fußgängerschutz am Pkw - Ergebnisse mathematischer Simulation
- [5] Grandel, J.; Zeisberger, H.; Walz, F.: Kinematics and head injuries in vehicle/pedestrian accidents at speeds above 50 kph: Proceeding of International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impacts, Zürich 1986 (p 189-203)