

KOPF, HALS- UND WIRBELSÄULENVERLETZUNGEN UND TODESURSACHEN  
BEI ÄUßEREN VERKEHRSTEILNEHMERN

G. Stürtz, Dipl.-Ing.	Institut für Landverkehrsmittel, Technische Universität Berlin
E.G. Suren, Dr. med.	Unfallchirurgische Klinik
L. Gotzen, Dr. med.	Medizinische Hochschule
S. Behrens, Dr. med.	Hannover
K. Richter, Dr. med.	Pathologisches Institut Krankenhaus Nordstadt Hannover

1. ÜBERSICHT

Der Verkehrsunfallentwicklung der BRD für 1973 ist zu entnehmen, daß Fußgänger und Zweiradfahrer die höchste Letalitätsrate aller Verkehrsteilnehmergruppen besitzen. Die Gesamtzahl, der in diesen Gruppen tödlich Verletzten, überstieg 1973 die der Insassen von Personenkraftwagen.

Die relative Letalität (Bild 1) ist bei Fußgängern und Zweiradfahrern am größten und zeigt einen positiven Gradienten für Kinder mit abnehmendem und Erwachsene mit steigendem Lebensalter. Hieraus ist zu folgern, daß das Ziel der passiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen, der Reduktion der Aggressivität von Fahrzeugen bzw. -teilen gegenüber Verkehrsteilnehmern, verbunden mit einer Verringerung des volkswirtschaftlichen Verlustes durch Verkehrsunfälle, umfassend nur durch Senkung der Fahrzeugaggressivität gegenüber dem ÄUßEREN VERKEHRSTEILNEHMER erreicht werden kann.

Eine Optimierung des Fahrzeugs hinsichtlich des Äußeren Verkehrsteilnehmers ist nur bezüglich seiner Hauptgruppen sinnvoll. Anders als bei Dummyversuchen, deren Vorteile, aber auch Unzulänglichkeiten, hinreichend bekannt sind, entfällt bei der Analyse realer Unfälle die Korrelation Dummy-Mensch, lebendes - totes Gewebe und wird dagegen zusätzlich durch den Parameter Lebensalter ergänzt.

Die hohe Letalität Äußerer Verkehrsteilnehmer, verursacht durch ihre im Mittel stärkere Belastung ihres Organismus ist zum großen Teil mit einer hohen Verletzungshäufigkeit des Kopfes verbunden, die für Fußgänger mit durchschnittlich 91% (14, 15, 16, 5) und Zweiradfahrer mit 95% (3) wesentlich höher als bei Insassen (7) mit 70% liegt. Der Kopf stellt mit 62% bei Insassen (7) und Fußgängern (4) den Ort der zahlreichsten tödlichen Organverletzung.

Ziel dieser Arbeit ist, neben Beiträgen zur Unfallmechanik des Äußeren Verkehrsteilnehmers, die Ermittlung von Verletzungsschwerpunkten, unter besonderer Berücksichtigung des Lebensalters, durch Korrelation typischer Verletzungsbilder mit verursachenden Fahrzeugteilen, um aggressive Teile der Außenkontur von Fahrzeugen auffinden und biomechanisch anpassen zu können.

Ausgehend von realen Fußgänger- und Zweiradunfällen sollen Verletzungsursachen, -arten und -schwere des Kopfes fahrzeugbezogen aufgezeigt, ferner eine Erarbeitung von Einflüssen verschiedener Altersgruppen, Fahrzeugkonturen und der Kollisionsgeschwindigkeit auf Kinematik und Traumatisierung vorgenommen werden. Ergänzend hierzu sollen Wirbelsäulenverletzungen Äußerer Verkehrsteilnehmer sowie Ursachen und Arten letaler Schädigungen untersucht werden.

## 2. AUSGANGSSITUATION

### KOPFVERLETZUNGEN:

- Die primären Kopfverletzungen des Fußgängers (Fahrzeug) sind schwerer als die sekundären (Straße) (15).
- Für den Kopf ist der Sekundäraufprall (Straße) im Mittel schwerer als der Primäraufprall (Fahrzeug) (10).
- Kinder erleiden als Fußgänger und Radfahrer mehr Kopfverletzungen als Erwachsene, radfahrende Kinder mehr als kindliche Fußgänger (12).
- Kinder erleiden als Fußgänger zu 58%, Erwachsene zu 62% Kopfverletzungen (2).
- Die Anzahl der Kopf- und Halsverletzungen steigt bei Kindern als Fußgänger reziprok zum Lebensalter (6).
- Der HIC (Head Injury Criterium) - Index des Erwachsenen Fußgängers ist größer als der des Kindes (9).
- Der Kopfverletzungsschweregrad des Fußgängers, bezogen auf typische Frontkonturen, steigt für die Kinder von der Keil- über Ponton- zur Kastenkontur, für den älteren Menschen dagegen von der Ponton- über Keil- zur Kastenkontur (16, 5).
- Die Häufigkeit tödlicher Schädeltraumen ist für Radfahrer größer als für Fußgänger (3).
- 30% der schwersten und tödlichen Verletzungen des Fußgängers werden durch die Fronthaube, Windschutzscheibe bzw. ihren Rahmen verursacht (19).
- Kindliche Fußgänger zeigen andere Kopfverletzungsarten als Erwachsene (13).
- Die Kopfverletzungsarten von Kindern als Fußgänger zeigen mehr Schädel-Hirntraumen aber weniger Schädelfrakturen als die von Erwachsenen (15).
- Kleine Kinder erleiden als Fußgänger mehr Schädel-Hirntraumen aber auch Schädelfrakturen als Kinder über 6 Jahren und zeigen einen wesentlich höheren Kopfverletzungsschweregrad.

ANDERES:

- In der Lendenwirbelsäule liegen mit über 50% die Mehrzahl der Wirbelsäulenverletzungen bei Fußgängern und Radfahrern (3).
- Die Thoraxbeschleunigungen sind beim Kind höher als beim Erwachsenen (9).
- Unfälle älterer Menschen sind schwerer durch höhere primäre Letalität (14).
- Tödlich verletzte Fußgänger haben zu 44% Thoraxfrakturen (19).
- Radfahrer weisen weniger schwere Verletzungen als die Fußgänger auf, wenn ihre Sitzhöhe oberhalb der Vorderkante der Fronthaube liegt (11).

3. DATENMATERIAL

Im Rahmen eines Verkehrsunfallforschungsprogrammes (finanziert durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, BRD) wurden innerhalb von 2,5 Jahren 550 Einzelfallanalysen realer Verkehrsunfälle medizinisch, technisch und psychologisch dokumentiert, davon 150 FUBGÄNGERUNFÄLLE (80 Kinder, 70 Erwachsene) und 100 ZWEIRADFAHRERUNFÄLLE.

Die ALTERSVERTEILUNG unseres Kollektivs um Vergleich zur BRD-Statistik (Bild 2) zeigt bei den Fußgängern eine Überrepräsentation der Kinder, die auf drei unfallträchtige Frühlingsperioden und Fehlen von Nachtunfällen zurückzuführen ist. Die Zweiradunfälle und besonders die dokumentierten tödlich verletzten Verkehrsteilnehmer zeigen in ihrer Altersverteilung annähernd Übereinstimmung mit der Bundesstatistik.

Zur quantitativen Optimierung des Fahrzeugäußeren ist, wie auch bezüglich des Insassen, eine Berücksichtigung der STOßPUNKTLAGE an den Außenkonturen notwendig (Bild 3). Für den Fußgänger liegen sie zu 40% und für den Zweiradfahrer zu 54% an der Front mindestens 25% der Fahrzeugbreite vom Fahrzeugrand entfernt. Auffällig ist der hohe Stoßpunktanteil des Randbereiches beim Fußgängerunfall.

Der Fußgänger wird zu 93% an seinen Körperseiten getroffen, im Gegensatz zum Zweiradfahrer, der am häufigsten mit seinem Fahrzeug frontal auftrifft. Der hohe Anteil der linksseitigen STOßPUNKTLAGE beim Zweiradfahrer ist in Verbindung mit der rechtsseitigen Stoßpunktlage beim PKW in der Regel auf eine Ignorierung der Vorfahrt des Zweiradfahrers zurückzuführen.

Eine Analyse der Stoßpunktlagen mit resultierenden primären Kopfverletzungen bezogen auf die Gesamtzahl der Stoßpunkte an den einzelnen Anstoßstellen am Fahrzeug zeigt beim Fußgänger eine klare Abhängigkeit von seiner Laufrichtung. Bei einer Stoßpunktlage im ersten Fünftel der Fahrzeugfront in Laufrichtung, wird der Fußgänger verstärkt lateral zum Fahrzeug zurückgeworfen, während er bei einer Stoßpunktlage im zweiten

Fünftel der Fahrzeugfront stets zur Fronthaube bzw. zum Windschutzscheibenbereich aufgeworfen wird. Bei Kollisionen im dritten bis fünftel Fünftel wird der Fußgänger dagegen infolge seiner Eigengeschwindigkeit schräg über die Fronthaube aufgeworfen und prallt anschließend mit dem Kopf auf die Straße.

Der Zweiradfahrer trifft dagegen durch die Richtung seines eigenen häufigsten Geschwindigkeitsvektors in 63% der Fälle mit seinem Kopf gegen den mittleren Bereich der Fahrzeugfront.

Zur Darstellung der Kinematik des realen Fußgängerunfalls und als Bezugsgröße für die Verletzungsschwere, und zur Bewertung der durch die Kollision mit dem Fahrzeug auftretenden Belastungen für den menschlichen Organismus, wurde die KOLLISIONSGESCHWINDIGKEIT zum Crash-Beginn ermittelt. Für die Fußgängerunfälle wurde letztere aus Blockierspuren, Straßenbeschaffenheit, Kollisionsort und Geschwindigkeitsverlust infolge Energieumwandlung in der Kollisionsphase berechnet. Für den Zweiradfahrer wurde sein Geschwindigkeitsvektor senkrecht zur Anprallfläche aus seiner Fahrtrichtung zum Kollisionszeitpunkt den Auslaufspuren seines Zweirades unter Berücksichtigung eines vollplastischen Stoßes berechnet.

Für die Fußgängerunfälle zeigt der Vergleich zwischen berechneter und durch den Fahrer geschätzter Kollisionsgeschwindigkeit zu niedrige Fahrerangaben im unteren Geschwindigkeitsbereich (Bild 4). Ein Vergleich der mittleren Kollisionsgeschwindigkeiten ergibt 9,4 m/s für die Fußgänger und 11,6 m/s für die Zweiradfahrer (Bild 5). Die mittlere Kollisionsgeschwindigkeit bei den am häufigsten vorkommenden Pontonfahrzeugen mit durch das Fahrzeug verursachten Kopfverletzungen beträgt für Fußgänger 10,7 m/s und für Zweiradfahrer 12,2 m/s.

#### 4. MECHANIK DER KOPFVERLETZUNG

Zur Bestimmung des Einflusses von Fahrzeug- und Fußgängerparameter auf die Kinematik des Bewegungsablaufes, wurde die VERTIKALE KÖRPERSCHWERPUNKTHÖHE des Fußgängers berechnet. Beim Zweiradfahrer wurde seine meist nach vorn geneigte Sitzposition berücksichtigt (18,1).

Für den kindlichen Fußgänger ergibt sich als mittlere SCHWERPUNKTHÖHE 70,6 cm (Bild 6) gegenüber 93,1 cm beim Erwachsenen. Beim Zweiradfahrer zeigt sich kein Unterschied in den Altersgruppen, dagegen ein deutlicher zwischen Motorrad (85,0 cm) und Fahrrad (98,1 cm).

Zum fahrzeugbezogenen Vergleich der Kinematik des FUSSGÄNGERS und ZWEIRADFAHRERS wurde deren AUFWURFWEITE durch Berücksichtigung des Abstandes zwischen vertikalem Körperschwer-

punkt und Haubenvorderkante der Kollisionsgeschwindigkeit gegenübergestellt (Bild 7).

Die Aufwurfweite ist von Bedeutung für die konstruktive Reduktion der primären, durch den Fahrzeugaufprall verursachten Verletzungsschwere, um für einen im Stadtverkehr häufigsten Kollisionsgeschwindigkeitsbereich zulässige verletzungsarme Kontaktstellen an der Fahrzeugkontur vorzusehen. Durch die höhere Schwerpunktlage des Zweiradfahrers in Verbindung mit einer anderen Körperhaltung kleineres Trägheitsmoment wurde dieser wesentlich weiter zum Fahrzeug (z.B. Dach) aufgeworfen, bzw. gelangte leichter an formsteife Fahrzeugteile.

Für Motorräder mit ihrem besonders niedrigen Schwerpunkt konnte festgestellt werden, daß bei seitlichem Anfahren des Zweiradfahrers durch die Fahrzeugfront ein Aufwerfen nicht immer stattfand, sondern Fahrer und Zweirad nach unten gedrückt wurden. Unabhängig vom sehr häufigen seitlichen Anfahren des Fußgängers zeigt sich bei Pontonkontur nur zu 23% ein LATERALER AUFSCHLAG DES KOPFES auf das Fahrzeug, ein dorsaler dagegen zu 40%. Der laterale Kopfaufprall ist nicht immer begleitet vom gleichzeitigen Schulteraufprall. Die Kinder neigen beim seitlichen Auffahren eher zu einem lateralen Kopfaufprall als die Erwachsenen, der in einer kürzeren Rotationszeit um die Hochachse des kindlichen Körpers begründet sein kann.

## 5. VERLETZUNGSMUSTER VON FUßGÄNGERN UND ZWEIRADFAHRERN

Zur Analyse des VERLETZUNGSMUSTERS von Fußgängern und Zweiradfahrern für verschiedene Altersgruppen wurden Verletzungshäufigkeit, -schwere und Traumatisierungsgrad verschiedener Körperregionen ermittelt. Der TRAUMATISIERUNGSGRAD einzelner Körperregionen (17,16) - ist das Produkt aus Verletzungshäufigkeit und primärer Verletzungsschwere (20) und stellt ein Maß für die gesamttraumatische Schädigung einer Körperregion dar. Da für die Zweiradfahrer (Bild 8) nur in 56% der vorliegenden Fälle die Kollisionsgeschwindigkeit berechnet werden konnte, wurden angenäherte Geschwindigkeiten für das Untersuchungskollektiv vorgesehen. Bei den ZWEIRADFAHRERN zeigt sich, daß die größte Traumatisierung für alle Altersgruppen im Kopfbereich gefolgt von den Unterschenkelverletzungen liegt. In der Verletzungsschwere stehen die Thorax- und Abdomenverletzungen deutlich vor den Kopfverletzungen. Bei den FUßGÄNGERN (Bild 9) ist für den Kopf ebenfalls der höchste Traumatisierungsgrad zu verzeichnen, gefolgt von Verletzungen des Unterschenkels beim Erwachsenen und Oberschenkels bzw. Abdomens beim Kind.

Der Vergleich zwischen Fußgänger- und Zweiradfahrerunfällen zeigt eine höhere VERLETZUNGSHÄUFIGKEIT des Kopfes beim Fußgänger. Bei kindlichen Fußgängerunfällen findet sich ein höherer TRAUMATISIERUNGSGRAD der Oberschenkelverletzungen als bei kindlichen Zweiradfahrern.

Da der Kopf die Körperregion mit dem höchsten Traumatisierungsgrad darstellt, erfolgt eine weitere Differenzierung nach bestimmten Fahrzeugkonturen, die diese Kopfverletzungen verursachen. Die Kastenkontur ergibt den größten Traumatisierungsgrad bei kindlichen FÜßGÄNGERN, gefolgt von der Pontonkontur bei kindlichen Fußgängern bis zu 6 Jahren. Für den letzteren Fahrzeugtyp ist besonders signifikant der Einfluß des höheren Lebensalters Erwachsener zu erkennen.

Bei den ZWEIRADFAHRERN verursacht die Kastenkontur den höchsten Traumatisierungsgrad in der Reihenfolge Kind, Erwachsener. Die primäre Verletzungsschwere unterschiedlicher Körperregionen in Abhängigkeiten von der Kollisionsgeschwindigkeit ließ sich nicht immer statistisch gesichert darstellen. Die GESCHWINDIGKEITSABHÄNGIGE VERLETZUNGSSCHWERE (Bild 11) zeigt für die Pontonkontur bei Kindern ein Überwiegen des Kopfes bei Geschwindigkeiten unterhalb von 12 m/s und oberhalb dieser ein Dominieren der Verletzungsschwere des Abdomens. Bei den ERWACHSENEN steht bis ca. 12 m/s die Verletzungsschwere des Beckens im Vordergrund.

Die VERLETZUNGSSCHWERE des KOPFES bei Kindern für verschiedene KONTURFORMEN zeigt für die Kastenkonturen stärksten Anstieg mit der Geschwindigkeit. Für den Erwachsenen konnte wegen der geringen Fallzahl beim Kastenfahrzeug nur ein bis 12 m/s höherer Kopfverletzungsschweregrad der Keilkontur und darüber ein größerer bei Pontonkontur ausgegeben werden (Bild 12).

Ein Vergleich der SEKUNDÄREN VERLETZUNGSSCHWERE des KOPFES bei Pontonkontur für Kind und Erwachsenen ergibt für letzteren eine wesentlich stärkere Gefährdung.

Ein Vergleich der primären Kopfverletzungen von Fußgängern und Radfahrern, allgemein und bei Pontonkontur, zeigt mit hoher Signifikanz die große Gefährdung der Fußgänger bezüglich Kopfverletzungen bei gleichen Kollisionsgeschwindigkeiten.

Eine wesentlich stärkere Differenz der KOPFVERLETZUNGEN kann durch ihre Aufschlüsselung nach VERLETZUNGSARTEN und KOMBINATIONEN unter Berücksichtigung der Altersgruppen erreicht werden. Die größte Traumatisierung bei Fußgängern (Bild 12) zeigen die Gehirnverletzungen beim Primäraufprall von kleinen Kindern, gefolgt von Gehirnverletzungen älterer Menschen. Bei den VERLETZUNGSKOMBINATIONEN stehen vom Traumatisierungsgrad Gesichts / Schädelweichteilverletzungen verbunden mit Schädel Hirn-Traumen und Schädelfraktur im Vordergrund. Bei den KOPFVERLETZUNGSARTEN von Zweiradfahrern (Bild 14) zeigen die primären Gehirnverletzungen bei Kindern und Erwachsenen ebenfalls der höchste Traumatisierungsgrad.

Bei den Verletzungskombinationen steht die Weichteilverletzung mit Schädelfraktur und SHT beim Erwachsenen im Vordergrund. Bei den Kindern verursacht eine Vielzahl anderer hier nicht aufgeführter noch möglicher Kombinationen einen hohen Traumatisierungsgrad unter "Anderes".

#### 6. AGGRESSIVITÄT VON FAHRZEUGAUßENTEILEN

Analog der Bewertung von Traumatisierungen von Körperregionen durch den Traumatisierungsgrad, ist es möglich, die Aggressivität von Teilen des Fahrzeugäußeren ebenfalls durch das Produkt aus verursachten Verletzungen mit deren Häufigkeit zu bilden. Unter Berücksichtigung der Altersgruppen zeigt sich als aggressivstes Fahrzeugteil für den Fußgänger die Front des Kastenfahrzeuges für den Kopf des Kindes (Bild 15), gefolgt von der ersten Hälfte der Fronthaube beim Pontonfahrzeug und der Dachkante beim Keilfahrzeug für den Erwachsenen.

Beim Zweiradfahrer, wo keine Differenzierung nach Altersgruppen möglich war, zeigt der obere Frontbereich der Kastenkontur die höchste Aggressivität gefolgt von der unteren Frontseite der Kastenkontur und der Oberkante beim Pontonfahrzeug (Bild 16).

#### 7. HALS- UND WIRBELSÄULENVERLETZUNGEN

Bezogen auf die Zahl der verunglückten Äußeren Verkehrsteilnehmer konnte in 8% der Fälle Hals / Wirbelsäulenverletzungen festgestellt werden. Am zahlreichsten und vom größten Traumatisierungsgrad sind Wirbelfrakturen ohne Neurologie. Die größte Verletzungsschwere lassen Wirbelfrakturen mit Luxation und Neurologie im Traumatisierungsgrad mit der nächsten mittleren Verletzungsschwere. Als häufigste Verletzungsursache wurde mit 46% die Fahrzeugoberfläche festgestellt.

#### 8. MEDIZINISCH-TECHNISCHE TODESURSACHEN

Eine Analyse der tödlichen Verletzungen nach Körperregionen und Verkehrsteilnehmer zeigt, daß unter Berücksichtigung der geringen Fallzahl der Kopf mit 73% bei Zweiradfahrern und mit 67% bei Fußgänger häufigste LAGE der TÖDLICHEN VERLETZUNGEN ist (Bild 18). Als MEDIZINISCHE TODESURSACHE steht bei den Äußeren Verkehrsteilnehmern mit 66% der zentrale Tod im Vordergrund. Ganz im Gegensatz dazu steht die mit 31% häufigste Lage der tödlichen Verletzung am Thorax der Insassen und Konkurrenz von zentralem Tod und Ruptur von Herz und großen Gefäßen.

Bei den TECHNISCHEN TODESURSACHEN steht A+B-Pfosten mit Windlauf bei den allgemeinen medizinischen Todesursachen, besonders jedoch beim zentralen Tod, im Vordergrund.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Durch Analyse von 150 Fußgängerunfällen und 100 Zweiradunfällen konnte der Einfluß verschiedenster Parameter auf die Traumatisierung von Kopf und Wirbelsäule, mit einzelnen Einschränkungen bezüglich ihrer statistischen Aussagefähigkeit, sowie Tendenzen zur Ursache und Art letaler Verletzungen aufgezeigt werden.

Es ergaben sich folgende wesentliche **ERGEBNISSE**:

- Die relative Letalität ist für Fußgänger und Zweiradfahrer bedeutend größer, als für Insassen und zeigt einen positiven Gradienten für Erwachsene mit steigendem und für Kinder reziprok zum Lebensalter.
- Der Fußgänger wird zu 93% lateral und der Zweiradfahrer zu 43% frontal getroffen. Die häufigste Stoßpunktlage am Kraftwagen ist an der Fahrzeugfront.
- Die Zahl der Kopfverletzungen ist abhängig von der Stoßpunktlage am Fahrzeug und dem Geschwindigkeitsvektor des Äußeren Verkehrsteilnehmers.
- Die mittlere Kollisionsgeschwindigkeit senkrecht zur Fahrzeugfläche an der Stoßpunktseite beträgt allgemein für den Fußgänger 9,4 m/s und den Zweiradfahrer 11,6 m/s und liegen bei gleicher Tendenz für primäre Kopfverletzungen etwas höher.
- Der Zweiradfahrer besitzt eine im Durchschnitt um 6,8 cm höhere Schwerpunktlage als der Fußgänger mit großen Unterschieden zwischen Rad- und Motorradfahrern.
- Die mittlere Aufwurfweite des Zweiradfahrers ist bei Pontonfahrzeugen größer als die der Fußgänger.
- Der Kopf bildet den Schwerpunkt in der Traumatisierung von Körperregionen äußerer Verkehrsteilnehmer.
- Der Fußgänger besitzt eine größere Verletzungshäufigkeit des Kopfes als der Zweiradfahrer, jedoch eine geringere Verletzungsschwere.
- Die gefährdetsten Körperregionen von Kindern als Fußgänger sind nach ihrem Traumatisierungsgrad Kopf, Oberschenkel und Abdomen, als Zweiradfahrer Kopf, Unterschenkel und Oberschenkel.
- Die gefährdetsten Körperregionen von älteren Menschen als Fußgänger sind Kopf, Unterschenkel und Becken, als Zweiradfahrer Kopf, Unterschenkel und Thorax.
- Den größten Traumatisierungsgrad des Kopfes bei Äußeren Verkehrsteilnehmern verursachen die Kastenkonturen bei den Kindern, gefolgt von Pontonkonturen bei Kindern bis 6 Jahre.
- Bei Kindern stehen als primäre Verletzung der Körperregionen für Pontonkonturen ab ca. 12 m/s, bei Erwachsenen bis 12 m/s die Abdomen- bzw. Beckenverletzungen im Vordergrund.
- Bei gleichen Kollisionsgeschwindigkeiten bewirken die Kastenkonturen die schwersten primären Kopfverletzungen.



- Die sekundäre Kopfverletzungsschwere ist bei Pontonkontur für Erwachsene wesentlich größer als für Kinder.
- Bei gleichen Kollisionsgeschwindigkeiten werden Fußgänger schwerer verletzt als Zweiradfahrer.
- Bei den Kopfverletzungsarten weisen die primären Gehirnverletzungen bei den Fußgängern für die Gruppe der Kinder bis 6 Jahre und bei den Zweiradfahrern in der Gruppe der gesamten Kinder den höchsten Traumatisierungsgrad auf.
- Die aggressivsten Fahrzeugteile bezüglich Kopfverletzungen bei Fußgängern sind für Kinder die Front der Kastenkontur und die erste Hälfte der Fronthaube beim Pontonfahrzeug, für Erwachsene die Dachkante der Keil- und der A-Pfosten der Kastenkonturen.
- Die aggressivsten Fahrzeugteile bezüglich Kopfverletzungen bei Zweiradfahrern ist die untere Hälfte der Front der Kastenkontur und die Dachkante bei Pontonkontur.
- Wirbelfrakturen ohne Neurologie sind am zahlreichsten und haben den größten Traumatisierungsgrad der Wirbelsäulenverletzungen.
- Mit über 50% ist der Hals die häufigste Lage von Hals / Wirbelsäulenverletzungen, die am häufigsten durch die makroskopische Oberflächengestaltung verursacht werden.
- Bei den medizinischen Todesursachen steht der Kopf bei den Äußeren Verkehrsteilnehmern mit zentralem Tod im Vordergrund.
- Die technischen Ursachen der letalen Schädigungen sind für die allgemeine Todesursache sowie beim zentralen Tod, am häufigsten A+B-Pfosten mit Windlauf für die Äußeren Verkehrsteilnehmer und die Dachkante bei den Insassen.

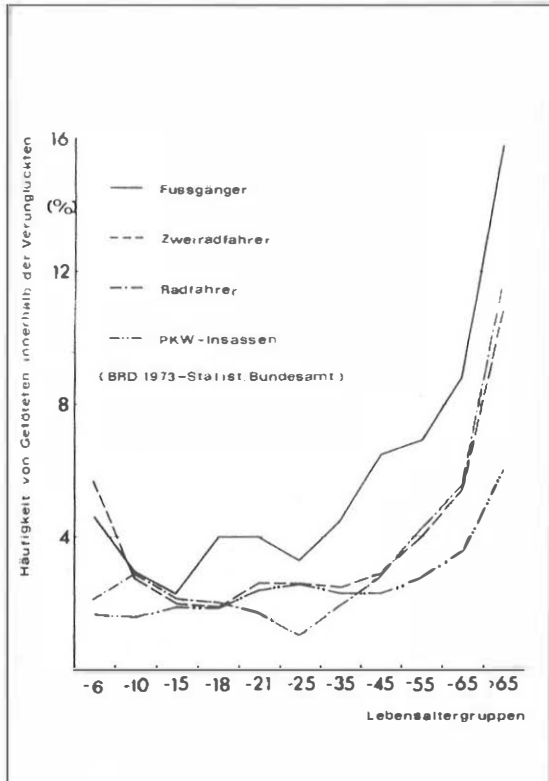
Die Kenntnis der typischen Verletzungsbilder von Fußgänger und Zweiradfahrer, Kind und älteren Erwachsenen schafft in Verbindung mit Aggressivitätsanalysen von Fahrzeugaußenteilen Bewertungskriterien für die Optimierung des Fahrzeugäußeren zur Reduktion der Unfallfolgen. Die hohe relative Letalität Äußerer Verkehrsteilnehmer wird primär durch die hohe Anzahl zentraler tödlicher Verletzungen verursacht. Seine größere Traumatisierung ist eine Folge seiner allgemeinen höheren spezifischen Belastung. Eine detaillierte Analyse bezüglich anderer zweit- oder drittgefährdeter Körperregionen bei größerer Fallzahl und höherer Signifikanz der Aussagefähigkeit erscheint auch hinsichtlich einer Nutzen/Kosten Analyse für die Gestaltung des Fahrzeugäußeren von besonderer Bedeutung.

LITERATUR

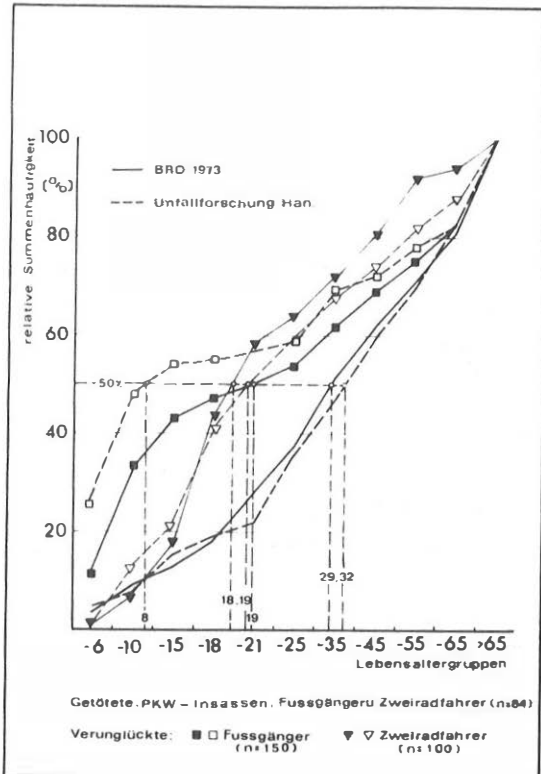
- (1) Cotton, F.S.  
The Center of Gravity in Man  
American Journal of Physical Anthropol.  
Vol 18 No. 3, Jan-Mar 1934, Philadelphia
- (2) Culkowsky, P.M. et al  
Research in Impact Protection for Pedestrians and Cyclists  
Cornell Aeronautical Laboratory, Incorporated  
Buffalo, New York, May 1972
- (3) Dörr, D.  
Verkehrsunfälle bei Fußgängern und Radfahrern  
Langenbecks Arch.Klin.Chir. 307, 238-260 (1964)
- (4) Fabricius, B. u.a.  
"Pedestrian accident tests with catapult"  
Research Report No. 40,  
Motor Vehicle Institut  
Technical University Berlin, 1968
- (5) Gotzen, L., Behrens, S., Suren, E.G., Stürtz, G.  
Der Fußgängerunfall des alten Menschen  
seine Biomechanik und spezielle Traumatologie  
"International Congress for Traffic Matters and Traffic  
Accidents (Traumatology)", Ankara, 28.5. - 1.6.1975
- (6) Hall, R.R. Vaughan, R.G. and Fisher, A.J.  
Pedestrian Crash Trauma and Vehicle Design  
in New South Wales, Australia  
Third International Congress on Automotive Safety,  
July 15-17, 1974, San Francisco, California
- (7) Kihlberg, J.K.  
Head Injury in Automobile Accidents  
Cornell Aeronautical Laboratory INC  
CAL Report No. V3 - 1823 - R 17  
Nov. 1965
- (8) Kielhorn, F.W.  
Tödliche Straßenverkehrsunfälle von Fußgängern  
Zentralblatt für Verkehrs-Medizin, Verkehrs-Psychologie,  
Luft- und Raumfahrt  
Heft 3, 18. Jahrgang Sept. 1972

- (9) Mac Laughlin, T.F.  
A Parametric Study of Pedestrian Injury  
Third International Congress on Automotive Safety  
July 15-17, 1974, San Francisco, California
- (10) Mc Lean, A.J.  
Car Shape and Pedestrian Injury  
National Road Safety Symposium,  
Canberra, 14.-16. March, 1972
- (11) Mc Lean, A.J.  
Pedestrians and Bicyclists  
Vehicle Factors in Accident on Injury Causation  
Third International Congress on Automotive Safety  
July 15-17, 1974, San Francisco, California
- (12) Ryan, G.A.  
Children in Traffic Accidents  
Pediatrics 44:5(II), S. 847-54, 1969
- (13) Shaw, A.  
Child Pedestrian Accidents in Central Harlem 1968  
Journal of Trauma Band 11, S. 295-300, 1971
- (14) Stürtz, G. Suren, E.G. Gotzen, L. Richter, K.  
Analyse von Bewegungsablauf, Verletzungsursache,  
-schwere und -folge bei Fußgängerunfällen mit  
Kindern durch Unfallforschung am Unfallort  
IRCOBI, Lyon, France, Sept. 1974
- (15) Stürtz, G. Suren, E.G. Gotzen, L. Richter, K.  
Analyse von Bewegungsablauf, Verletzungsursache,  
Verletzungsschwere, Verletzungsfolge bei Fußgänger-  
unfällen mit Kindern durch Unfallforschung am Unfallort  
Der Verkehrsunfall, Feb. 1975, Heft 2
- (16) Stürtz, G. Suren, E.G. Behrens, S. Gotzen, L.  
"Biomechanik realer Kinderfußgängerunfälle"  
International Congress for Traffic Matters and  
Traffic Accidents (Traumatology)", Ankara, 28.5.-1.6.1975
- (17) Suren, E.G. Behrens, S. Gotzen, L. Stürtz, G.  
Wanderer, U. Richter, K.  
Verletzungsbild, -ursache und Mechanik beim Fahrzeug-  
seitenaufprall  
Langenbecks Arch.Chir.Suppl.Chir. Forum 1975

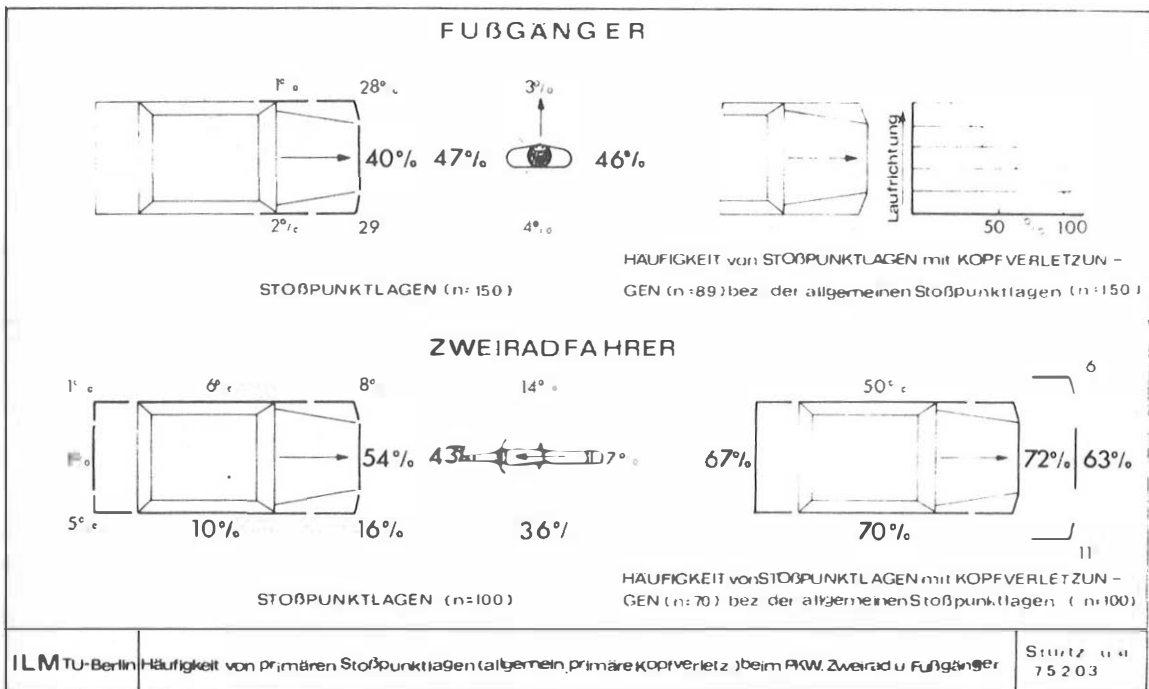
- (18) Swearingen, B.B. and Young, I.W.  
Determination of Centers of Gravity of Children  
sitting and standing  
Civil Aerospace Research Institute, Federal Aviation  
Agency  
No. AM 65-23. Aug. Oklahoma City 1965
- (19) Tarriere, C. Stcherbatcheff, G. Duclos, P.  
The Influence of the Shape of the Vehicle on the  
Severness of Pedestrian Injuries  
Third International Congress on Automotive Safety  
July 15.-17, 1974, San Francisco, California
- (20) The Abbreviated Injury Scale (AIS) -Preliminary-  
18. Conference of American Association for Automotive  
Medicine (USA) Dez. 1974

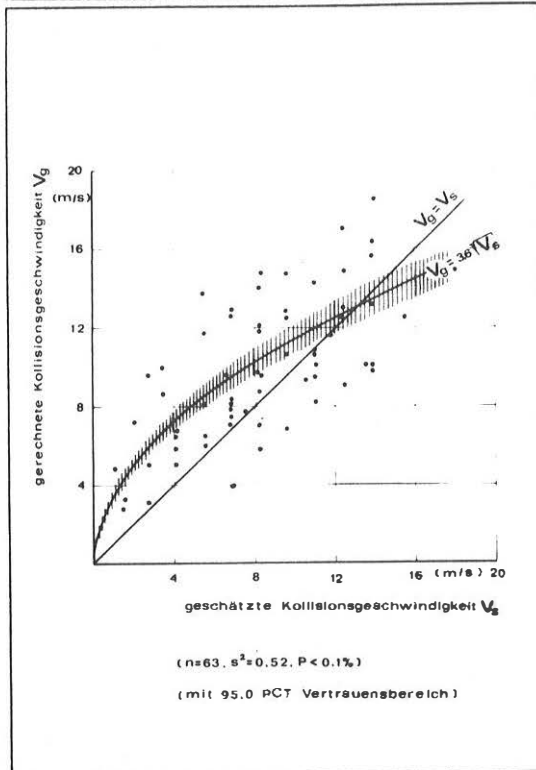


ILM TU Berlin	Relative Letalität v. Lebensaltergruppen verschiedener Verkehrsteilnehmerarten	Stürz u.a. 75201
------------------	--	---------------------

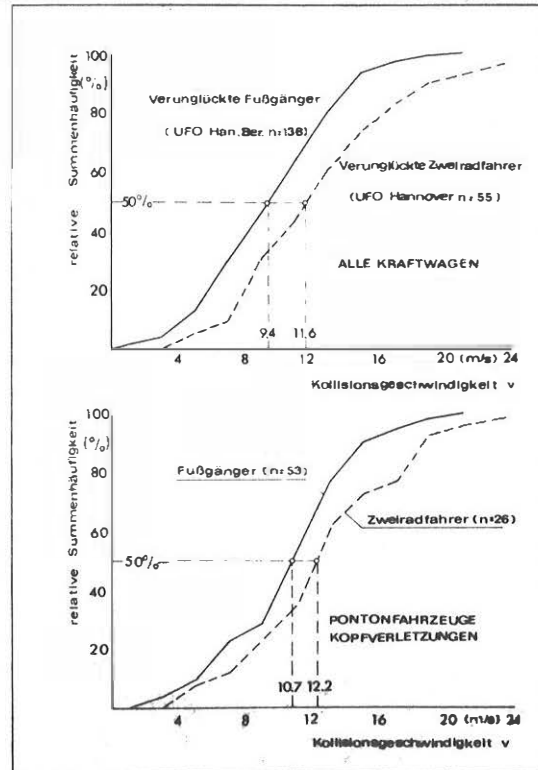


ILM TU Berlin	Relative Summenhäufigkeit von Lebensaltergruppen verschiedener Verkehrsteilnehmerarten u. getöteter Verkehrsteilnehmer.	Stürz u.a. 75202
------------------	---	---------------------

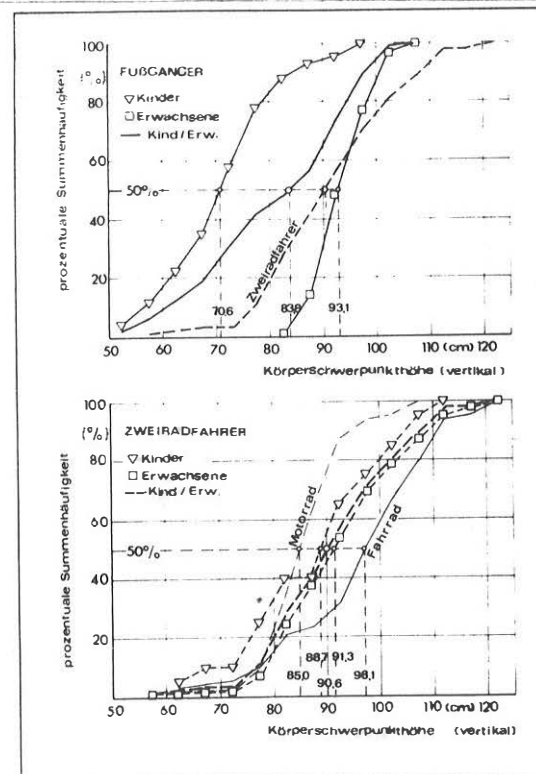




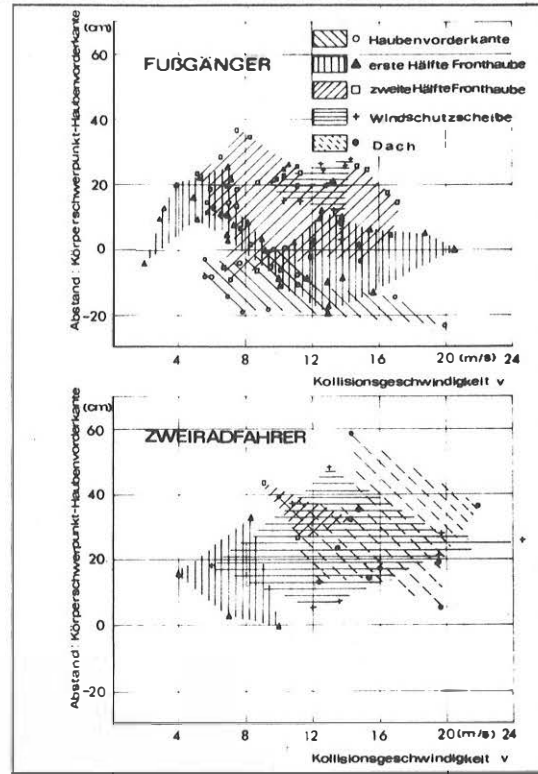
ILM TU Berlin	Vergleich von geschätzter-(Fahrer) und gerechneter Kollisionsgeschwindigkeit	Stürzt u.a. 75204
------------------	--	----------------------



ILM TU Berlin	Relative Summenhäufigkeit von Kollisionsgeschw. senkrecht zur Kraftwagenfront bei Fußgängern und Zweiradfahrern (Allgemein und bei Kopfverletzungen)	Stürzt u.a. 75205
------------------	--	----------------------



ILM TU Berlin	Summenhäufigkeit von Körperschwerpkt.-Höhen bei Fußgängern und Zweiradfahrern unter Berücksichtigung des Lebensalters	Stürzt u.a. 75206
------------------	---	----------------------



ILM TU Berlin	Aufwurfweiten bei Pontonform und Franko- lition in Abhängigkeit von der Kollisions- geschwindigkeit für Fußgänger u. Zweiradfahrer	Stürzt u.a. 75207
------------------	--	----------------------

VERLETZ. HÄUFIGKEIT (%)			TRAUMATISIERUNGSGRAD (% x AIS)			VERLETZ. SCHWERE (AIS)		
Kind	Erw.	Alt. Erw.	Kind	Erw.	Alt. Erw.	Kind	Erw.	Alt. Erw.
82	68	89	197	177	231	24	26	26
4	7	7	4	12	7	10	1,7	10
30	15	29	33	20	46	1,1	1,3	1,6
4	20	28	20	62	73	5,0	3,1	2,9
4	-	-	12	-	-	3,0	-	-
4	17	11	12	46	30	3,0	2,7	2,7
7	7	11	18	16	19	2,5	2,3	1,7
37	39	18	59	78	18	1,6	2,0	1,0
63	49	54	107	88	103	1,7	1,8	1,9

Kinder (n: 27,  $v_m \approx 14,2$  m/s), Erwachsene < 50 (n: 41,  $v_m \approx 11,9$  m/s), Ältere Erw.  $\geq 50$  (n: 28,  $v_m \approx 13,8$  m/s)

ILM TU Berlin | Verletzungshäufigkeit und -schwere von Körperregionen bei Zweiradfahrern versch. Altersgruppen | Stürtz u a  
7 5 2 0 8

VERLETZ. HÄUFIGKEIT (%)			TRAUMATISIERUNGSGRAD (% x AIS)			VERLETZ. SCHWERE (AIS)		
Kind	Erw.	Alt. Erw.	Kind	Erw.	Alt. Erw.	Kind	Erw.	Alt. Erw.
92	81	90	212	146	234	23	1,8	2,6
1	3	13	1	3	39	1,0	1,0	3,0
11	8	27	23	10	62	2,1	1,3	2,3
20	16	23	48	45	71	2,4	2,8	3,1
1	5	13	3	15	46	3,0	2,5	3,5
26	14	7	75	45	28	2,9	3,2	4,0
17	16	47	26	43	127	1,5	2,7	2,7
40	27	30	80	41	54	2,0	1,5	1,8
26	62	73	49	130	183	1,9	2,1	2,5

Kinder (n: 76,  $v_m \approx 10,1$  m/s), Erw. < 65 (n: 37,  $v_m \approx 10,4$  m/s), Ältere Erw.  $\geq 65$  (n: 30,  $v_m \approx 10,2$  m/s)

ILM TU Berlin | Verletzungshäufigkeit und -schwere von Körperregionen bei Fußgängern versch. Altersgruppen | Stürtz u a  
7 5 2 0 9

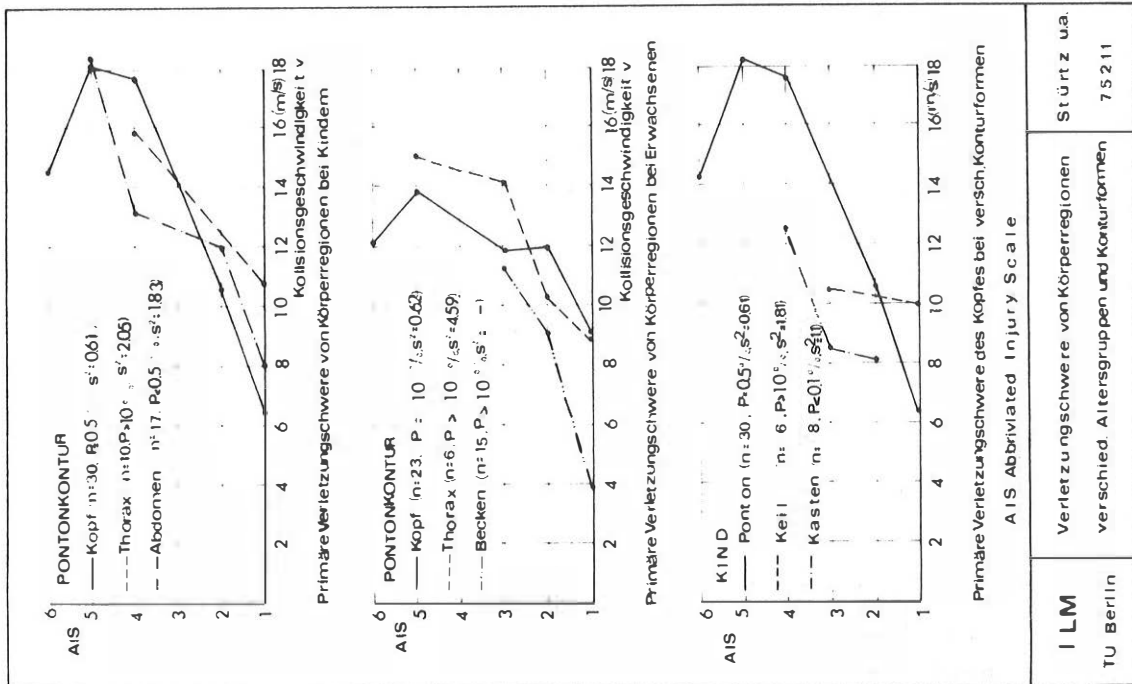
FUßGÄNGER				
KONTUR - FORMEN	Kinder (n: 80)		Erwachsene (n: 70)	
	%	% AIS	%	% AIS
( $\leq 6$ J, $\leq 60$ J)	63	227	36	55
PONTON				77
( $\geq 6$ J, $\geq 60$ J)	57	114	2.0	65
KEILFORM	82	172	2.1	77
KASTEN	89	294	3.3	67
				201
				30

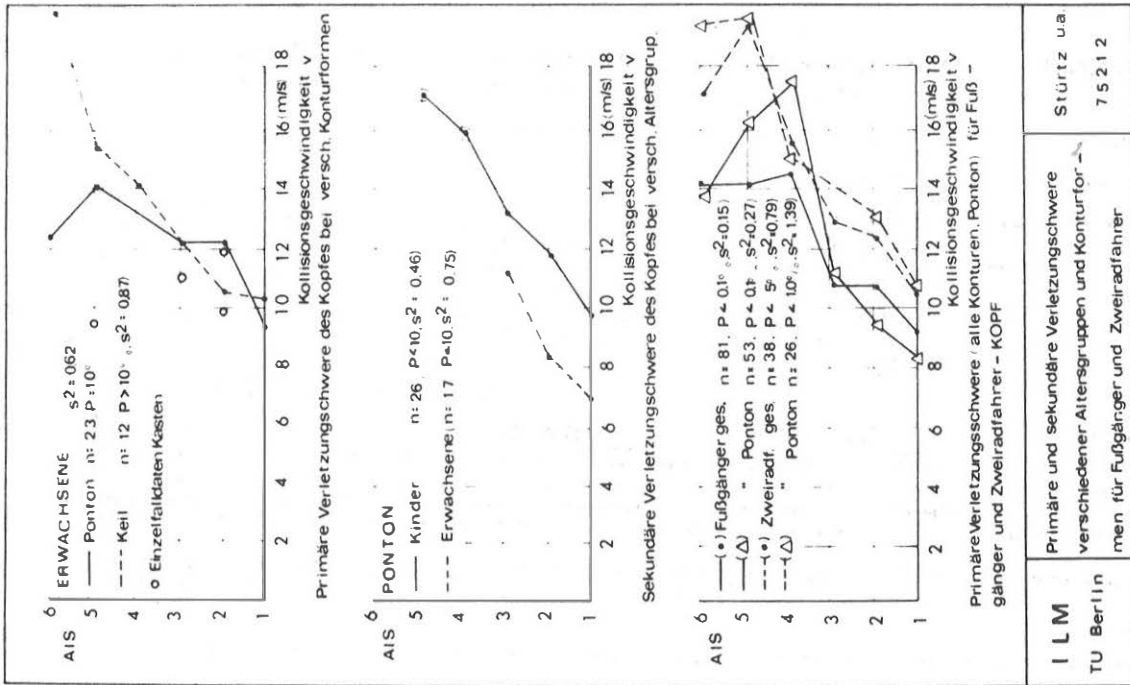
ZWEIRADFÄHRER				
KONTUR - FORMEN	Kinder (n: 27)		Erwachsene (n: 69)	
	%	% AIS	%	% AIS
PONTON	73	190	2.6	68
KEILFORM	50	65	1.3	73
KASTEN	100	330	33	80
				224
				28

I L M TU Berlin	Primäre Verletzungsschwere (AIS) - schwere (AIS) und Traumatizierungsgrad (% AIS) des Kopfes bei verschiedenen Konturformen und Lebensaltergruppen für Fußgänger und Zweiradfahrer	Stürzt u.a. 7 5 2 1 0
--------------------	--	--------------------------







ANZAHL	n: 25	n: 55	n: 39	n: 31
KOPF	Kinder: 6	Kinder: 10	Erwachs: 6	Erwachs: 10
VERLETZUNGSARTEN	% AIS AIS	% AIS AIS	% AIS AIS	% AIS AIS
Weichteil prim	56 78 1.4	58 70 1.2	49 49 1.0	58 64 1.1
Verletzung sek	48 53 1.1	36 36 1.0	33 36 1.1	39 39 1.0
Schädel prim	16 56 3.5	6 20 3.3	3 12 4.0	26 73 2.8
Frakturen sek	12 40 3.3	- - -	8 22 2.7	- - -
Gehirn prim	52 203 3.9	44 110 2.5	31 78 2.5	55 176 3.2
Verletzung sek	24 79 3.3	11 24 2.2	18 43 2.4	19 42 2.2

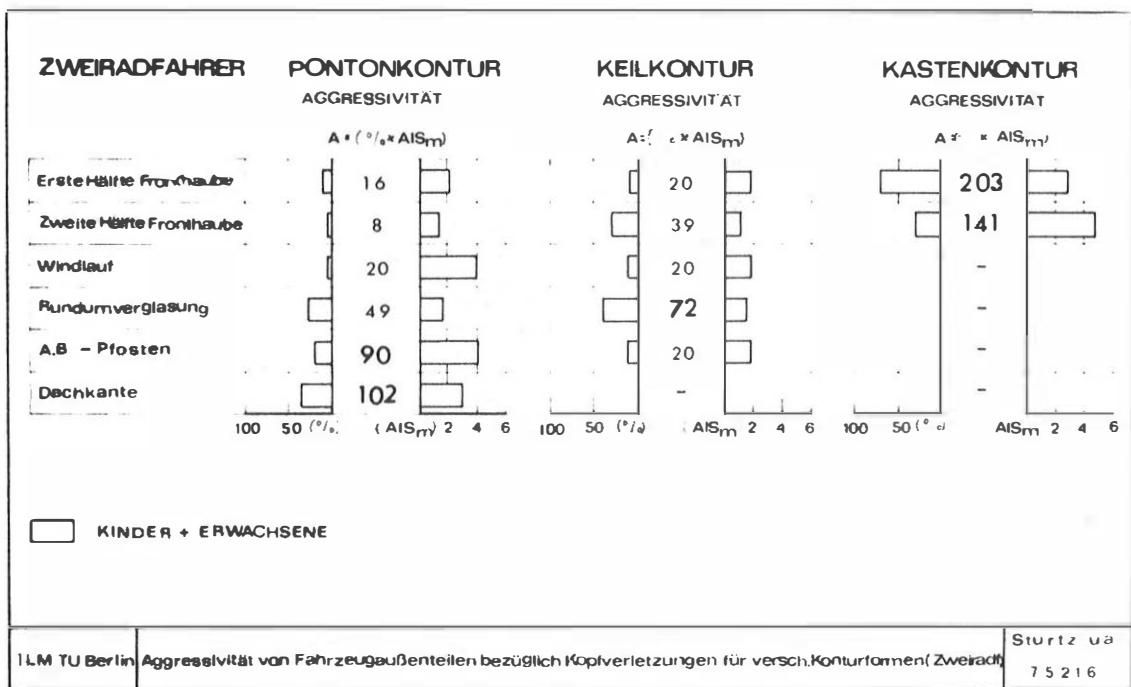
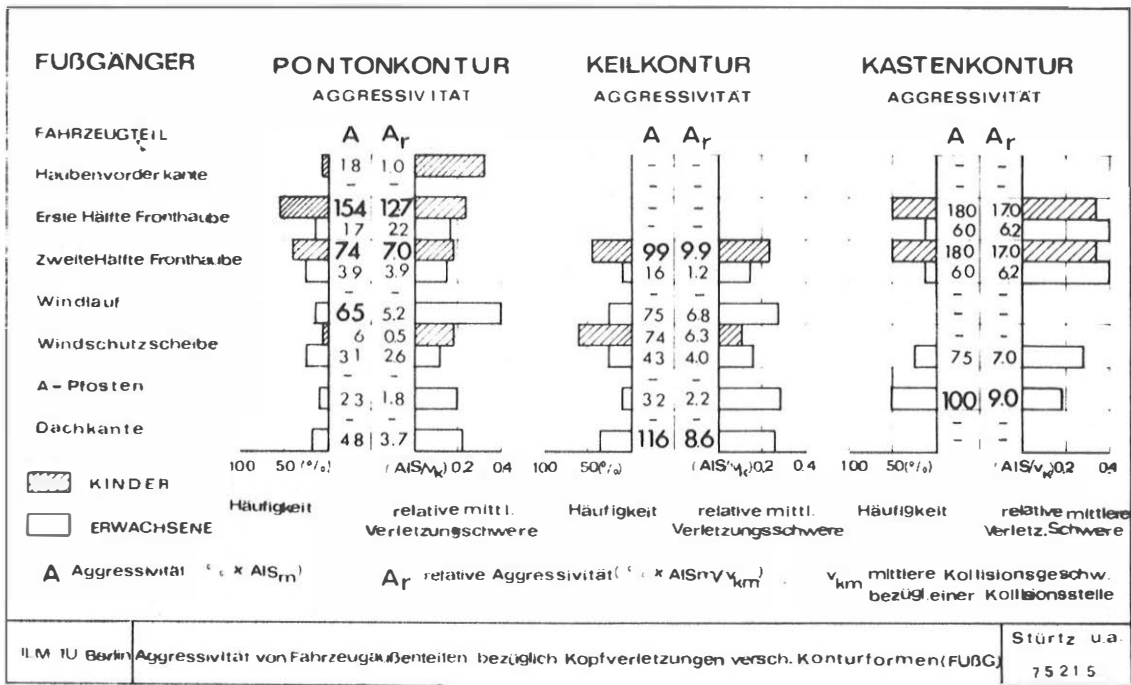
ANZAHL	n: 23	n: 50	n: 31	n: 30
VERLETZUNGSKOMBINATIONEN	% AIS AIS	% AIS AIS	% AIS AIS	% AIS AIS
Gesichtswichtteilverletzung	17 17 1.0	28 31 1.1	28 28 1.0	3 3 1.0
Weichteilvert. Schädeldach	4 8 2.0	8 8 1.0	10 10 1.0	13 17 1.3
Gesichtswichtteil + SHT	23 92 4.0	34 71 2.1	19 38 2.0	13 33 2.5
Schädelwichtteil + SHT	4 8 2.0	8 22 2.8	13 30 2.3	27 57 2.1
Gesicht + Schädelwichtteil + SHT	9 41 4.5	8 22 2.8	10 20 2.3	10 27 2.7
Ges + Schädelwichtteil + SHT + Sch. Frakt.	26 122 4.7	6 18 3.0	10 33 3.3	7 32 4.5
Anderes	17 31 1.8	8 14 1.8	10 17 1.7	27 97 3.6

**ILM TU Berlin**  
 Häufigkeit (%) Schwerer AIS und Traumatismierungsgrad (x AIS) von Kopfverletzungsarten und -Kombinationen bei Fußgängerunfällen  
 Stürzt u.a. 7 5 2 1 3

KOPF VERLETZUNGSARTEN	Kinder (n: 27)		Erwachsene (n: 69)	
	% AIS	AIS	% AIS	AIS
Weichteil prim	52	57	11	56
Verletzung sek	30	30	1.0	16
Schädel prim	11	25	23	22
Frakturen sek	4	8	2.0	-
Gehirn prim	56	162	29	48
Verletzung sek	4	8	2.0	6

VERLETZUNGSKOMBINATIONEN	Kinder (n: 26)		Erwachsene (n: 48)	
	% AIS	AIS	% AIS	AIS
Gesichtswichtteilverletzung	12	12	1.0	15
Gesicht + Schädelwichtteilverletzung	8	12	1.5	10
Gesichtswichtteil + SHT	23	46	2.0	23
Schädelwichtteil + SHT	19	53	2.8	13
Weichteilverletzung + Schädelfraktur + SHT	4	24	6.0	15
Weichteilverletzung + Gesichtschädelfraktur + SHT	-	-	-	8
Anderes	34	88	2.6	16

**ILM TU Berlin**  
 Häufigkeit (%) Schwerer (AIS) und Traumatismierungsgrad (x AIS) von Kopfverletzungsarten und -Kombinationen bei Zweiradunfällen  
 Stürzt u.a. 7 5 2 1 4



VERLETZ. ART	Anzahl AIS		LAGE (%)	
	n:21 (%)	%KAS m	m HALS	BRUSTLENDEN
WEICHTEILVERLETZ	33	1.3	43	7
WIRBELPRELLUNG	5	1.0	5	1
WIRBELFRAKTUR OHNE NEUROLOGIE	48	2.9	139	2
WIRBELFRAKT + LUXA- TION m. NEUROLOGIE	14	5.3	74	2

VERLETZ. URSACHEN	ANZAHL (%)
OBERFLÄCHE VON FZG-TEILEN	46
ABSTÜTZKRÄFTE DES HALSE	24
ABKNICKUNG D. OBERKÖRPER	12
ANFAHREN VON HINTEN	12

<b>ILM</b> TU BERLIN	<b>HALS-UND WIRBELSAULENVERLETZUN- GEN BEI AUßEREN VERKEHRSTEILNEHMER</b>	Stürzt u.a. 75217
-------------------------	---	----------------------

KÖRPERREGION	Fußgänger n:15	Zweiradfahrer n:15	Insassen n:36
KOPF	67%	73%	28%
THORAX	7%	7%	31%
ABDOMEN	13%	13%	24%
POLYTRAUMEN	13%	7%	17%

TODESURSACHE	Fußgänger n:15	Zweiradfahrer n:15	Insassen n:36
Zentraler Tod	58%	66%	31%
Ruptur von Herz und großen Gefäßen	—	7%	31%
Schock und Polytrauma	14%	7%	16%
Spätkomplikationen	14%	7%	—
tödliches Bauchtrau.	14%	13%	22%

<b>ILM</b> TU Berlin	Lage u. Ursache tödli. Organverletzungen bei verschiedenen Verkehrsteilnehmerart.	Stürzt u.a. 75218
-------------------------	--	----------------------

Techn. Todesursachen (Allgemein)	Ges. häufig- keit (%)	Fußgänger n:13		Zweiradfahrer n:14		Insassen n:36	
		(/)	(%)	(/)	(%)	(/)	(%)
Armaturenbrett	30	-	-	-	-	11	30
Innenraumseitenfl.	17	-	-	-	-	6	17
A+B-Posten,Windfl.	82	5	39	4	29	5	14
Dachkanten	54	-	-	6	43	4	11
Fahrzeugfuß (Ins.)	19	-	-	-	-	7	19
Haubenvorderkante	30	3	23	1	7	-	-
Fronthaube	23	3	23	-	-	-	-
Anderes	45	2	15	3	21	3	9

Techn. Todesursachen (Zentraler Tod)	Ges. häufig- keit (%)	Fußgänger n:9		Zweiradfahrer n:11		Insassen n:10	
		(/)	(%)	(/)	(%)	(/)	(%)
A+B-Posten,Windlauf	112	5	56	4	36	2	20
Dachkanten	96	-	-	5	46	5	50
Fahrzeugfuß (Ins.)	30	-	-	-	-	3	30
Haubenvorderkante	11	1	11	-	-	-	-
Fronthaube	33	3	33	-	-	-	-
Anderes	18	-	-	2	18	-	-

<b>ILM</b> TU Berlin	Technische Ursachen für primär tödliche allgemeine und zentrale Verletzungen	Stürzt u.a. 75219
-------------------------	---	----------------------

KOPF- HALS- UND WIRBELSÄULENVERLETZUNGEN UND TODESURSACHEN BEI  
ÄUBEREN VERKEHRSTEILNEHMERN (G. Stürtz, Dipl.-Ing.)

ERRATA: Es muß heißen

- |     |       |  |       |                                    |
|-----|-------|--|-------|------------------------------------|
| S.1 | Z. 25 | eine   | statt | ihre                               |
| S.1 | Z. 25 | Organismus   | statt | Organismusses                      |
| S.3 | Z. 21 | im   | statt | um                                 |
| S.3 | Z. 28 | es entfällt:   |       | wie auch bezüglich<br>des Insassen |
| S.4 | Z. 3  | fünften  | statt | fünftel                            |
| S.4 | Z. 21 | und den  | statt | den                                |
| S.4 | Z. 28 | Kollisionsge-<br>schwindigkeit   | statt | Kollisionsgeschwin-                |
| S.5 | Z. 7  | vorsehen zu können   | statt | vorzusehen                         |
| S.5 | Z. 9  | (kleineres Träg-<br>heitsmoment)   | statt | kleineres Träg-<br>heitsmoment     |
| S.5 | Z. 20 | Werden Kinder seitlich angefahren, findet sich häufiger ein lateraler Kopfaufprall als beim Erwachsenen, was in einer kürzeren Rotationszeit des Kopfes um die Hochachse des kindlichen Körpers begründet sein kann.     |       |                                    |
| S.6 | Z. 6  | Für letzteren Fahrzeugtyp zeigt sich besonders signifikant der Anstieg des Traumatisierungsgrades mit höherem Lebensalter des Erwachsenen.   |       |                                    |
| S.6 | Z. 25 | angegeben  | statt | ausgegeben                         |
| S.6 | Z. 35 | Differenzierung  | statt | Differenz                          |
| S.6 | Z. 46 | den höchsten   | statt | der höchste                        |
| S.7 | Z. 10 | darzustellen   | statt | zu bilden                          |
| S.7 | Z. 25 | Wirbelfrakturen mit Luxationen und neurologischen Symptomen besitzen den zweithöchsten Traumatisierungs- und den höchsten mittleren Verletzungsschweregrad (Bild 17)   |       |                                    |
| S.7 | Z. 37 | Ganz im Gegensatz dazu stellt der Torax bei den Insassen mit 31% die häufigste Lage der tödlichen Verletzungen dar. Bei den Todesursachen konkurrieren zentraler Tod mit Rupturen des Herzens und der großen Gefäße.     |       |                                    |
| S.8 | Z. 11 | mit abnehmendem  | statt | reziprok zum                       |
| S.9 | Z. 20 | Bei Wirbelsäulenverletzungen findet sich eine Häufung von Frakturen im Bereich der Hals- und Brustwirbelsäule. Unter Einbeziehung der Weichteilverletzungen ergibt sich die häufigste Traumatisierung in der Halsregion. |       |                                    |