

Redaktion:  
L. Schweiberer, München

M. Richter<sup>1</sup> · H. Thermann<sup>1</sup> · H. von Rheinbaben<sup>4</sup> · E. Schratt<sup>1</sup> · D. Otte<sup>2</sup> · H. Zwipp<sup>3</sup> · H. Tscherne<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unfallchirurgische Klinik, Medizinische Hochschule Hannover

<sup>2</sup> Abteilung Unfallforschung, Unfallchirurgische Klinik, Medizinische Hochschule Hannover

<sup>3</sup> Klinik und Poliklinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Technische Universität Dresden

<sup>4</sup> Chirurgische Klinik, Kreiskrankenhaus Großburgwedel, Lehrkrankenhaus der Medizinischen Hochschule Hannover

# Frakturen der Fußregion bei PKW-Insassen

## Häufigkeit, Ursachen und Langzeitergebnisse

### Zusammenfassung

Bei 6378 Verkehrsunfällen mit 8931 Verletzungen zwischen 1973 und 1989 im Großraum Hannover wurden 3267 PKW-Insassen mit Frakturen registriert. Davon hatten 148 (4,5 %) Personen Frakturen im Fußbereich erlitten. Die Unfalldaten wurden in Hinblick auf Verletzungsentstehung, -art und -ausmaß ausgewertet und die Verletzungsfolgen anhand von Langzeituntersuchungen evaluiert. Bei der Entstehung der Fußfrakturen spielte die Deformierung des Fußraums die wesentliche Rolle. Fahrer und Beifahrer erlitten ähnlich schwere Verletzungen. Bei den 286 Frakturen war der Vorfuß am häufigsten betroffen (45 %), gefolgt von OSG (35 %), Mittelfuß (11 %) und Rückfuß (6 %). Der Anteil der offenen Frakturen betrug 5 %. Die Klassifikation erfolgte nach der „Abbreviated Injury Scale“ (AIS) für die untere Extremität. Die Langzeitfolgen wurden anhand der fußverletzungsbedingten Minderung der Erwerbsfähigkeit (MdE) im Verhältnis zur gesamten MdE abgeschätzt. Diese Auswertung ergab, daß die Fußfrakturen vor allem bei erheblichen Begleitverletzungen bei der Primäruntersuchung oft nicht erkannt oder unterschätzt wurden. Die Langzeitfolgen gingen häufig mit einer erheblichen fußverletzungsbedingten Invalidation einher.

### Schlüsselwörter

PKW-Unfall · Fußfraktur · Verletzungsmechanismus · Langzeitfolgen

Während durch die verbesserte passive Sicherheit mit Sicherheitsgurten und Airbag die Verletzungen beim PKW-Unfall insgesamt deutlich abgenommen haben, sind die Fußverletzungen in Häufigkeit und Schwere eher zunehmend [6, 10, 23]. Dies entspricht unseren Beobachtungen in einem Krankenhaus der Maximalversorgung. Die Frakturen der Fußregion sind von gesamtprognostischer Bedeutung, da sie häufig invalidisierend sind [2, 3, 8, 13, 14, 17, 18]. Die Extremitäten sind im PKW nicht speziell geschützt, lediglich die Rückhaltewirkungen des Gurts für den Körperstamm und eingeschränkt die des Airbags bewirkt auch eine geminderte Anprallintensität der Extremitäten [5]. Bei unserer Studie wurde zunächst die tatsächliche Häufigkeit der Fußfrakturen ermittelt. Anhand der Unfalldaten wurden dann Verletzungsentstehung, -art und -ausmaß evaluiert. Die Langzeitfolgen der Fußverletzungen unter Berücksichtigung der Begleitverletzungen wurden ermittelt.

### Material und Methode

In einer statistischen Analyse wurden die Unfalldaten von 6378 Verkehrsunfällen aus den Jahren 1973–1989 aus der Abteilung für Unfallforschung der Unfallchirurgischen Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover auf das

Vorkommen von Fußverletzungen bei PKW-Insassen hin untersucht.

Die Unfalldaten wurden durch wissenschaftliche Teams der Verkehrsunfallforschung der Unfallchirurgischen Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover erstellt. Diese Teams werden direkt von der Rettungsleitstelle informiert und erreichen die Unfallstelle sehr schnell in eigenen Einsatzfahrzeugen. Im Bereich des Landkreises und der Stadt Hannover werden nach einem statistischen Stichprobenplan seit 1988 jährlich etwa 1000 Unfälle mit Personenschaden erfaßt und dokumentiert. In den Jahren 1973–1987 wurden im Schnitt 300 Unfälle/Jahr ausgewertet. Die Akten enthalten neben technischen Angaben und Auswertungen der PKW-Deformierungen auch medizinische Angaben bezüglich der Personenschäden und deren Schweregrade.

Mit Hilfe der erstversorgenden Klinik werden die Verletzungsarten registriert und dokumentiert. Die Dokumentation beinhaltet Bildmaterial vom Verletzungsaspekt sowie der dazugehörigen Röntgenaufnahmen. Fotos von der Unfallsituation, insbesondere de-

---

Dr. M. Richter  
Unfallchirurgische Klinik,  
Medizinische Hochschule Hannover,  
Carl-Neuberg-Straße 1,  
D-30625 Hannover

M. Richter · H. Thermann ·  
H. von Rheinbaben · E. Schratt ·  
D. Otte · H. Zwipp · H. Tscherne

## Fractures of the foot region of car drivers and passengers. Occurrence, causes and long-term results

### Summary

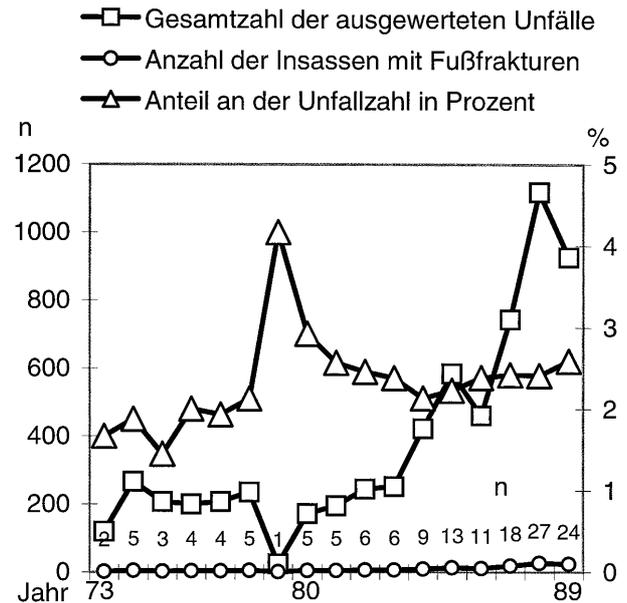
During 1973 and 1989, 6,378 car accidents with 8,931 injured persons were evaluated in the area of Hannover. 3,267 car drivers and passengers sustained fractures overall and 148 (4,5 %) fractures of the foot. A major role in the etiology of the foot fractures evolves from the deformation of the foot room. Driver and front seat passenger showed similar injuries. Among the 286 single fractures, the forefoot was affected most often (45 %), followed by ankle (38 %), midfoot (11 %) and hindfoot (6 %). 5 % were open fractures. The long term results were estimated upon the limitation of working ability caused by the foot injury in relation to the entire working ability. The evaluation concludes that the foot fractures especially in combination with other injuries were frequently not recognized within the primary examination and therefore underestimated. The long-term outcome led to a high degree of impairment due to foot fractures.

### Key words

Car accident · Fracture of the foot · Injury mechanism · Long-term outcome

## Originalien

Abb. 1 ► Anteil der Insassen mit Frakturen der Fußregion an der Gesamtanzahl der Unfälle



taillierte Aufnahmen der Unfallfahrzeuge sind zusätzlich beigefügt. Diese Unfallakte ermöglicht dann auch später die Erhebung einer technischen und medizinischen Unfallanamnese. Aus diesen Daten konnte Verletzungsentstehung, -art und -ausmaß ermittelt werden. Die Klassifikation der Verletzungsschwere erfolgte nach der AIS für die untere Extremität [1]. Die Langzeitfolgen wurden anhand der fußverletzungsbedingten MdE im Verhältnis zur gesamten MdE abgeschätzt.

### Ergebnisse

In den Jahren 1973–1989 waren an den 6378 ausgewerteten Verkehrsunfällen 7071 PKW mit 16 659 Insassen beteiligt. Dabei wurden insgesamt 8931 Insassen verletzt (53,6 %) und 3267 (19,6 %) erlitten Frakturen. Davon wurden 148 Personen (4,5 %) mit Frakturen der Fußregion registriert. Die Anzahl der Insassen mit Frakturen der Fußregion stieg von 2–5 jährlich in den 70er und frühen 80er Jahren auf über 20 in den Jahren 1988 und 1989 an. Allerdings verfünffachte sich auch die Zahl der ausgewerteten Unfälle im angegebenen Zeitraum von etwa 200 pro Jahr auf etwa 1000 pro Jahr. 1979 wurden nur 24 Unfälle mit einem Insassen mit Fußfraktur ausgewertet. Wenn man die Anzahl der registrierten Insassen mit Frakturen der Fußregion in Relation zur Zahl der ausgewerteten Unfälle setzt, stieg dieser Anteil im gesamten Verlauf an (Abb.1).

Das Durchschnittsalter der Verletzten betrug 34 (1–78) Jahre. Männer waren doppelt so häufig betroffen wie Frauen (männlich = 98, weiblich = 50). Noch am Unfallort waren 13 Personen verstorben, 3 Patienten verstarben später (gesamt: 11 %).

Die Insassen mit Fußfrakturen hatten 520 Frakturen insgesamt und davon 286 (57 %) Frakturen der Fußregion erlitten. Die außenseitige Extremität war bei den verletzten Fahrern zu 56 % und bei den Beifahrern zu 65 % betroffen. Innerhalb der Fußregion waren Vorfuß und OSG am häufigsten betroffen (Abb.2). Die Einteilung erfolgte biomechanisch-funktionell in Rückfuß (zwischen OSG und Chopartgelenk), Mittelfuß (zwischen Chopart- und Lisfrancgelenk) und Vorfuß (distal des Lisfranc-

Tabelle 1

#### AIS für die untere Extremität

AIS I: Zehenfrakturen, leichte bis mittelschwere Weichteilverletzung

AIS 2: Alle Fußfrakturen außer Zehenfrakturen und schweren Luxationsfrakturen (vgl. AIS 3), schwere Weichteilverletzung

AIS 3: OSG-Luxationsfrakturen mit hinterem Volkmannsdreieck, Chopart-/Lisfranc-luxationsfrakturen, schwerster Weichteilschaden, traumatische Amputation

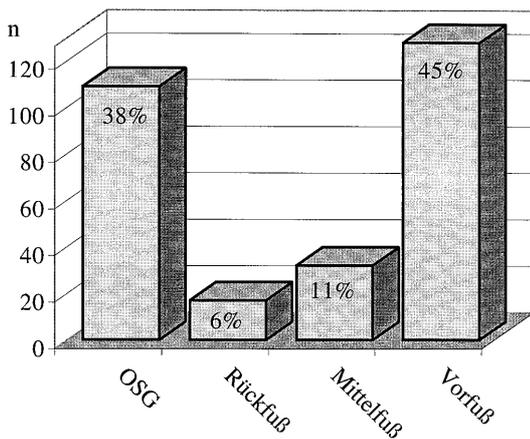


Abb. 2 ◀ Verletzungen der einzelnen Fußregionen

Gelenks). Diese Einteilung stimmt nicht mit der anatomischen Einteilung in Tarsus, Metatarsus und Phalangen überein. In 5% der Fälle handelte es sich um offene Verletzungen.

Die Verletzungsschwere wurde unter Erhebung des AIS der unteren Extremität (0–3) abgeschätzt [1]. Dabei wurden nur die Verletzungen der Fußregion berücksichtigt (Tabelle 1). In mehr als der Hälfte der Fälle lag demnach eine mittlere Verletzungsschwere (AIS 2) vor. Fast  $\frac{1}{3}$  der Verletzungen waren schwer (AIS 3) (Abb. 3).

Zur Abschätzung der Langzeitfolgen wurden für alle Überlebenden anhand von Rentengutachten und Nachuntersuchungen die durch die Verletzung der Fußregion bedingte MdE und die gesamte MdE erhoben. Die Untersuchungen wurden 2–20 (Mittelwert = 7,8) Jahre nach dem Unfall durchgeführt. Die Höhe der gesamten MdE wurde in den meisten Fällen wesentlich durch die erlittenen Fußverletzungen bestimmt (Abb. 4).

Zur Evaluation der Verletzungsentstehung wurden Impulswinkel, Ausmaß der Fußraumdeformierung, Deformierungsrichtung und Auswirkung des Anpralls auf die Insassen analysiert. Der Anstoß des Fahrzeugs ereignet sich unter dem Impulswinkel, d. h. unter diesem Winkel werden die Kräfte auf Fahrzeug und Insassen wirksam. Ein Anprall von  $180^\circ$  entspricht einem frontalen, genau nach hinten gerichteten Anprall. In 78% der Fälle betrug der Impulswinkel  $150\text{--}210^\circ$ , entsprechend einem Anprall im frontalen Fahrzeugbereich (Abb. 5).

Die beim Anprall freiwerdenden Kräfte ergeben sich aus der kinetischen Energie der anprallenden Massen. Die Vektoren der Kräfte bestimmen Art

und Richtung der Deformierung. Zu jedem Fall wurde anhand der Unfallfotodokumentation die Deformierung des Fußraums auf der Verletztenseite gruppiert. Der Deformierungsgrad wurde in Gruppen mit keiner, wenig, mittlerer und starker Deformierung eingeteilt. Die Einteilung der Deformierungsrichtung erfolgte in frontal, lateral, medial,

frontolateral, frontomedial, oben, unten und keine. Während sich der Deformierungsgrad in alle Gruppen etwa gleich verteilte, waren bei der Deformierungsrichtung vor allem frontale (33%) und frontolaterale (28%) aufgetreten;  $\frac{1}{4}$  der Verletzungen war ohne Deformierung aufgetreten. Einen wesentlichen Einfluß auf die Deformierung hat die Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  während des Anpralls.  $\Delta v$  stellt im Zusammenhang mit der anprallenden Masse ein Maß für die freiwerdende kinetische Energie der Kollision dar. Schon ab einem  $\Delta v$  von 15 km/h nehmen die Deformierungen des Fußraums deutlich zu (Abb. 6).

Um eine anschauliche Korrelation zwischen Deformierung und Verletzungsschwere zu ermöglichen, wurden die nach der AIS der unteren Extremität gebildeten 3 Gruppen mit leichter (AIS 1), mittlerer (AIS 2) und schwerer (AIS 3) Verletzung unterschieden. Während die Deformierungsrichtung keinen wesentlichen Einfluß auf die Verlet-

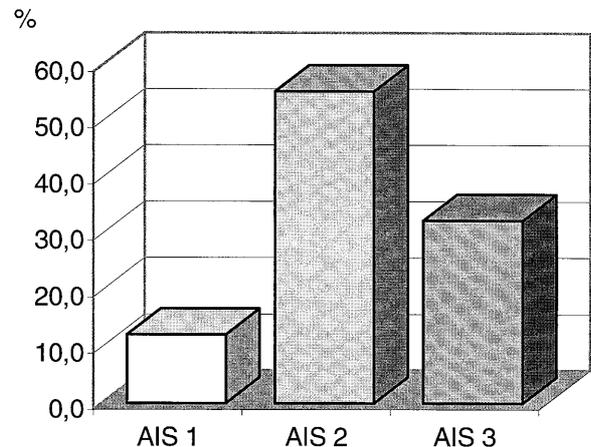


Abb. 3 ▶ Gruppeneinteilung nach AIS der unteren Extremität (1–3) der 148 Insassen mit Fußfrakturen

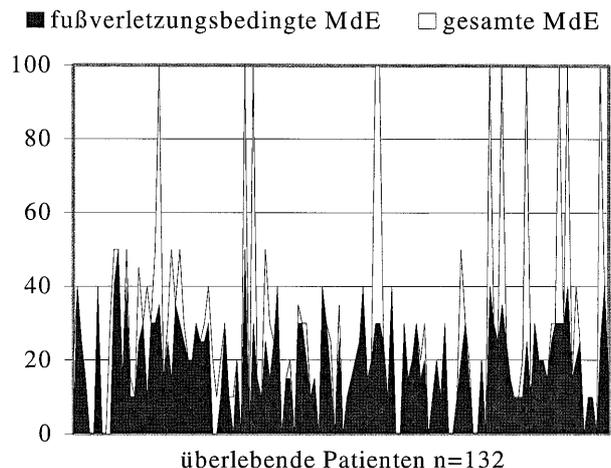


Abb. 4 ▶ Unfallbedingte gesamte MdE im Verhältnis zur fußverletzungsbedingten MdE

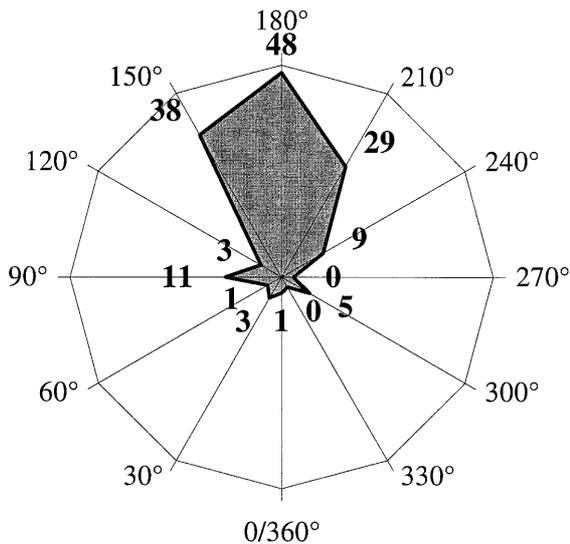


Abb. 5 ◀ **Verteilung der Impuls-  
winkel unter den 148 Unfall-  
beteiligten mit Fußverletzungen  
mit Anzahl der Anprälle der ver-  
schiedenen Impulsrichtungen,  
180° entspricht einem genau  
von vorn nach hinten gerichteten  
Frontalanprall**

zungsschwere hatte, traten bei zunehmendem Deformierungsgrad wie erwartet schwerere Verletzungen auf (Abb. 7).

### Diskussion

Nach einer erheblichen Zunahme der Verkehrsunfallzahlen in den 50er, 60er und 70er Jahren mit hohen Verletztenzahlen, konnte in den folgenden Jahrzehnten, vor allem durch die Einführung der Anschnallpflicht, eine Abnahme der Verletzungen trotz weiter ansteigender Unfallzahlen registriert werden [22]. Die passive Sicherheit wurde durch Versteifungen der Fahrgastzellen und vor allem den Airbag nochmals erheblich verbessert [11, 20, 23]. Dabei wurden jedoch nur die Verletzungen des Kopfes, Halses, Torsos und der oberen Extremität reduziert [10]. Die Verletzungen der unteren Extremität nahmen absolut gesehen zwar leicht ab, anteilmäßig bei zudem höherer Verletzungsschwere jedoch zu [5, 12]. Die Fußverletzungen und besonders die Frakturen der Fußregion stellen ein Problem dar. Sie werden initial oft nur unzureichend erkannt und meist unterschätzt [2, 3, 8, 13, 17]. Die Komplikationsrate der Fußfrakturen ist hoch und die adäquate Behandlung schwierig [19, 24]. Besonders die Verletzungen der Fußwurzel sind dann von einer hohen Rate von Spätmorbidität geprägt [4, 14, 21].

Bei der Entstehung der Frakturen der Fußregion beim PKW-Unfall werden unterschiedliche Verletzungsme-

chanismen diskutiert [6, 9]. Dabei wurden vor allem die vorderen Sitzpositionen und der Frontalcrash als wesentlicher Fußverletzungsmechanismus evaluiert [7, 15, 16]. In unserer Studie waren die Frakturen der Fußregion in dem Beobachtungszeitraum von 1973–1989 deutlich zunehmend. Dabei waren vor allem Vorfuß (45%) und OSG (38%) betroffen. Es dominierte eine mittlere Verletzungsschwere mit einem AIS von 2. Die Spätmorbidität der Verletzten war wesentlich von den Folgen der Fußverletzung geprägt. Als Verletzungsursache der Fußregion beim PKW-Unfall handelte es sich in  $\frac{3}{4}$  der Fälle um frontale Fahrzeuganprälle. Die im Fuß-

raum des Fahrzeugs aufgetretene Deformierung war wie erwartet von der Geschwindigkeitsänderung  $\Delta-v$  abhängig. Bei höherem Deformierungsgrad traten schwerere Verletzungen auf.

Zur Prävention der Fußfrakturen beim PKW-Unfall wurden in der letzten Zeit weitere Verbesserungen der passiven Sicherheit entwickelt. Vor allem effektivere Verstärkungen des Fußraums wurden und werden angestrebt. Dadurch soll zum einen die Fußraumdeformierung an sich vermindert werden und zum anderen eine gleichmäßigere Verformung zum Abbau der Kollisionsenergie erreicht werden. Beim Unfall wegklappende Pedale verringern deren verletzungsfördernde Wirkung und werden bereits vereinzelt serienmäßig angeboten. Ob in der Realität ein Airbag auch im Fußraum präventive Wirkung hat bleibt abzuwarten, eine kurz vor der Serienreife stehende Entwicklung wurde bereits vorgestellt, nachdem Tests mit Dummies erfolgversprechend verlaufen waren. Auch futuristischere Konzepte, wie z. B. der vollständige Ersatz der Pedale durch bündig im Fußraumboden eingelassene Drucksensoren wurden bereits vorgeschlagen, allerdings haben hier praxisgerechtere Änderungen der existierenden Standardversionen mehr Aussichten auf Umsetzung.

Anzahl der ausgewerteten Unfälle

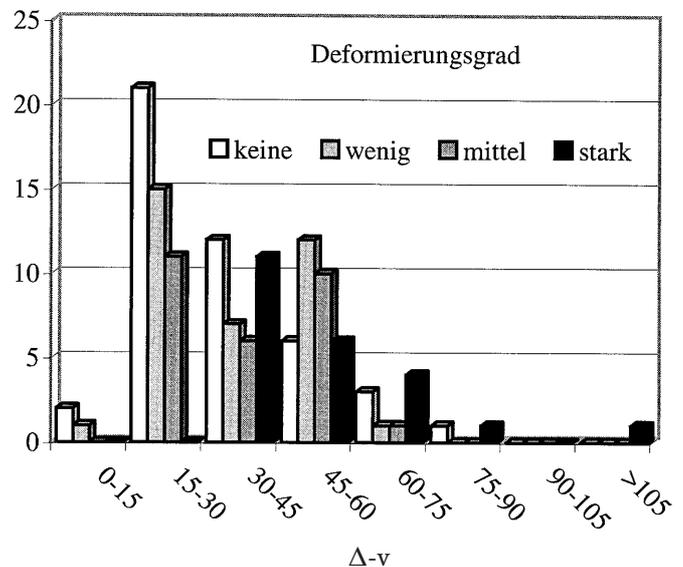


Abb. 6 ▶ **Deformierungsgrad in Abhängigkeit von  $\Delta-v$**

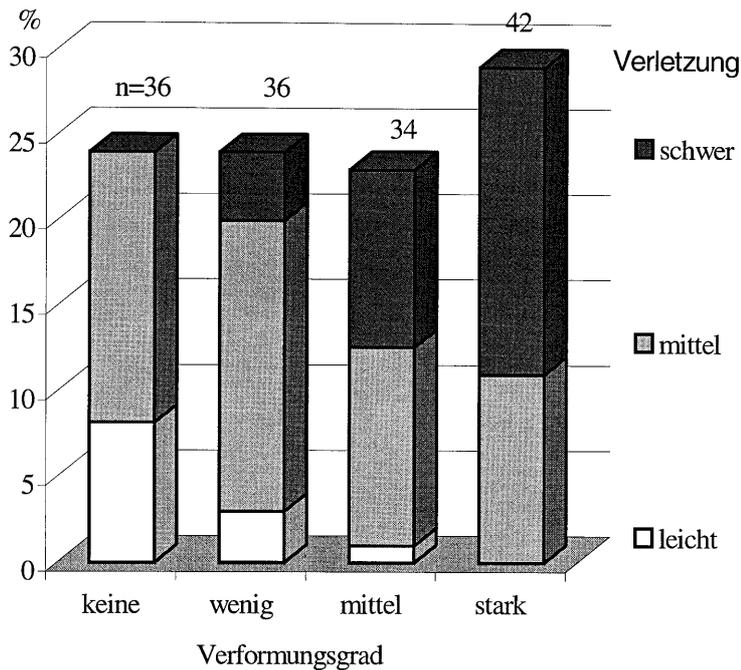


Abb. 7 ▲ Verletzungsschwere in Abhängigkeit vom Verformungsgrad

## Fazit für die Praxis

Bei verbesserter passiver Sicherheit der PKW treten die Verletzungen der Fußregion immer mehr in den Vordergrund. Sie werden vor allem durch die Verformung des Fußraums beim Frontalcrash verursacht. Die Fußfrakturen haben große Bedeutung für die Gesamtprognose. Deshalb sollte einerseits die Verminderung der Fußraumdeformierung mit angestrebt werden; gleichzeitig ist eine sorgfältige Primärdiagnostik der Fußverletzungen ebenso unerlässlich, wie auch die adäquate Frakturbehandlung. Die technischen Neuerungen wie beim Unfall wegklappende Pedale oder energieabsorbierende Verstärkungen und definierte Versteifungen des Fußraums sind wirksame Präventionsmaßnahmen für Fußfrakturen. Ob auch in der Realität Fußraumairbags oder möglicherweise der Ersatz von Pedalen durch bündig im Fußraumboden eingelassene Drucksensoren wesentliche präventive Wirkung haben bleibt abzuwarten.

## Literatur

- American Association for Automotive Medicine (1995) **Abbreviated Injury Scale – Revision 90**. Am Ass F Autom Med, Morton Grove, Ill.
- Amon K (1990) **Luxationsfraktur der kuneonavikularen Gelenklinie. Klinik, Pathomechanismus und Therapiekonzept einer sehr seltenen Fußverletzung**. Unfallchirurg 93: 431–434
- Babst R, Simmen BR, Regazzoni P (1991) **Behandlung der frischen Lisfranc-Luxation und -luxationsfrakturen**. Z Unfallchir Versicherungsmed 84: 159–164
- Brutscher R (1991) **Frakturen und Luxationen des Mittel- und Vorfußes**. Orthopäde 20: 67–75
- Burgess AR, Dischinger PC, O’Quinn TD, Schmidhauser CB (1995) **Lower extremity injuries in drivers of airbag-equipped automobiles: clinical and crash reconstruction correlations**. J Trauma 38: 509–516
- Dischinger PC, Cushing BM, Kerns TJ (1993) **Injury patterns associated with direction of impact: drivers admitted to trauma centers**. J Trauma 35: 454–458
- Evans L, Frick MC (1988) **Seating position in cars and fatality risk**. Am J Public Health 78: 1456–1458
- Graziano TA, Snider DW, Steinberg RI (1984) **Crush and avulsion injuries of the foot: their evaluation and management**. J Foot Surg 23: 445–450
- Hill JR, Frampton RJ, Mackay M (1995) **Appropriate frontal barrier tests for belted occupants**. Accid Anal Prev 27: 807–817
- Loo GT, Siegel JH, Dischinger PC et al. (1996) **Airbag protection versus compartment intrusion effect determines the pattern of injuries in multiple trauma motor vehicle crashes**. J Trauma 41: 935–951
- Mackay M (1994) **Engineering in accidents: vehicle design and injuries**. Injury 25: 615–621
- Manoli A, Prasad P, Levine RS (1997) **Foot and ankle severity scale (FASS)**. Foot Ankle Int 18: 598–602
- Mawhinney IN, McCoy GF (1995) **The crushed foot**. J R Coll Surg Edinb 40: 138–139
- Myerson MS, McGarvey WC, Henderson MR, Hakim J (1994) **Morbidity after crush injuries to the foot**. J Orthop Trauma 8: 343–349
- Nyquist GW, Denton RA (1979) **Crash test dummy lower leg instrumentation for axial force and bending moment**. ISA Trans 18: 13–22
- Parenteau CS, Viano DC, Lovsund P, Tingvall C (1996) **Foot-ankle injuries: influence of crash location, seating position and age**. Accid Anal Prev 28: 607–617
- Suren EG, Zwipp H (1986) **Akute ligamentäre Verletzungen der Chopart- und Lisfranc-Gelenklinie**. Orthopäde 15: 479–486
- Suren EG, Zwipp H (1989) **Luxationsfrakturen im Chopart- und Lisfranc-Gelenk**. Unfallchirurg 92: 130–139
- Swoboda B, Scola E, Zwipp H (1991) **Operative Behandlung und Spätergebnisse des Fußkompartmentsyndroms**. Unfallchirurg 94: 262–266
- Walz E (1997) **Biomechanik und Verletzungsverhütung im Straßenverkehr**. Ther Umsch 54: 238–241
- Ward EG, Bodiwala GG, Thomas PD (1992) **The importance of lower limb injuries in car crashes when cost and disability are considered**. Accid Anal Prev 24: 613–620
- Wild BR, Kenwright J, Rastogi S (1985) **Effect of seat belts on injuries to front and rear seat passengers**. Br Med J 290: 1621–1623
- Zador PL, Ciccone MA (1993) **Automobile driver fatalities in frontal impacts: air bags compared with manual belts**. Am J Public Health 83: 661–666
- Ziv I, Mosheiff R, Zeligowski A, Liebergal M, Lowe J, Segal D (1989) **Crush injuries of the foot with compartment syndrome: immediate one-stage management**. Foot Ankle 9: 185–189