

## Originalarbeiten — Original Papers

# Die Unterschenkelfraktur verunglückter Fußgänger — Möglichkeiten und Grenzen der Unfallrekonstruktion

H.-J. Mittmeyer, H. G. König, E. Springer und M. Staak

Institut für Gerichtliche Medizin der Universität Tübingen (BRD)

Eingegangen am 26. August 1974

## The Lower Leg Fracture of Pedestrian Victims — Possibilities and Limits of Reconstruction of Traffic Accidents

*Summary.* The possibilities and limits of the reconstruction of pedestrian accidents by the lower leg fracture are discussed by means of clinical reports. It could be shown that the evaluation of X-ray examinations is very important. Suggestions for a optimal utilization of autopsy findings are given.

*Zusammenfassung.* An Hand eines klinischen Untersuchungsmaterials werden die Möglichkeiten und Grenzen der Unfallrekonstruktion aus der Form der Unterschenkelfrakturen verletzter Fußgänger erörtert. Hierbei hat sich die Auswertung von röntgenologischen Befunden als wertvoll erwiesen. Es werden Vorschläge für eine optimale Ausnutzung der durch die Obduktion zu erhaltenden Informationen gemacht.

*Key words:* Messerer-Fraktur — Unterschenkelbrüche, Unfallrekonstruktion — Traumatologie, PKW-Fußgänger-Kollision.

### 1. Einleitung

Die verkehrsmedizinische Statistik weist aus, daß im Rahmen von Verkehrsunfällen Pkw-Fußgänger-Kollisionen außerordentlich häufig sind. Da derartige Unfallhergänge für den beteiligten Fußgänger nicht selten tödlich enden, stößt die Rekonstruktion des Unfallablaufes auf Schwierigkeiten, weil vom Getöteten Informationen nicht mehr zu erhalten sind. Weiterhin ist durch die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Kollisionspartner mit häufig kaum abschätzbaren Bewegungsabläufen zu rechnen, so daß die vorhandenen Verletzungs- und Beschädigungsspuren als wesentliche Informationsquellen zur Rekonstruktion des Unfallhergangs ausgeschöpft werden müssen. Insbesondere ist der Versuch, aus festgestellten Unfallverletzungen auf Art und Richtung der Gewalteinwirkung zu schließen, schon häufig unternommen worden (Patscheider, 1963; Dürwald, 1966). Eine zusammenfassende Darstellung der Biomechanik des Unfalls bei verschiedenenartigen Verkehrsteilnehmern findet sich bei Gögler (1968).

Von besonderem Interesse für die Rekonstruktion von Pkw-Fußgänger-Unfällen ist das Verletzungsmuster im Bereich der unteren Extremitäten, die 38,3% der Gesamtverletzungen bei stationär behandelten Patienten ausmachen (Gögler, 1968). Nach Heifer (1967) soll der Anteil der Knochenverletzungen der Beine beim tödlich verletzten Fußgänger 48,5% betragen, die häufigste Anstoßregion waren mit 40,4% die Unterschenkel.

## 2. Das Bruchphänomen

Wird ein nicht völlig spröder, langer Körper, der eine Längstextur aufweist, in Querrichtung einer dynamischen Biegebelastung unterworfen, die sein elastisches Deformationsvermögen überschreitet, also den durch das Hookesche Gesetz beschreibbaren reversiblen Deformationsbereich, in dem die erzeugten Deformationen den einwirkenden Kräften proportional sind, so wird der Körper irreversibel deformiert: er bricht. Er bricht jedoch immer in mehr oder weniger charakteristischer Weise. Man kann diesen charakteristischen Bruchverlauf in der Natur häufig beobachten. Gezogene Glasröhren, in Faserrichtung geschnittene Holzstäbe und menschliche Röhrenknochen sind Beispiele dafür. Das Phänomen dabei ist, daß bei durch dynamische Biegebelastung an genügend elastischen Körpern mit Längstextur erzeugten Biegungsbrüchen der Bruchfugenverlauf nicht willkürlich ist, sondern u. a. von der Richtung der einwirkenden äußeren Kraft abhängt. Die Bruchfuge verläuft auf der der äußeren Gewalteinwirkung entgegengesetzten Seite (Biegezugseite) in oder fast in Querrichtung des Körpers und nähert sich auf der Seite der Gewalteinwirkung (Biegedruckseite) asymptotisch der Längsrichtung. Die durch den Bruch gelegte idealisierte Trennfläche hat also auf der Biegezugseite einen Mündungswinkel von nahe  $90^\circ$ , auf der Biegedruckseite von nahe  $0^\circ$  und wechselt dazwischen nicht das Vorzeichen ihrer Krümmung. Sie ist von der Biegedruckseite her gesehen immer konvex.

Das typische Bruchbild läßt sich, auch wenn es aus mehr als einer Bruchfuge besteht, aus Trennflächen dieser Art zusammensetzen. Oft entspringen an einem Punkt der Biegezugseite zwei Bruchfugen, die voneinander weglaufen und auf diese Weise einen Keilbruch erzeugen. Der Bruchkeil ist dann durch zwei, von der Basis (Biegedruckseite) her gesehen, konvexe Trennflächen begrenzt.

Häufig entstehen auf der Biegedruckseite vom asymptotischen Bruchschenkel aus senkrecht nach außen laufende Restbrüche oder kleinere Absprengungen (Abb. 1–3; die dynamische Biegebelastung wirkte von oben her ein).

Zur Erklärung des Phänomens lassen sich, da noch keine umfassende Frakturenlehre vorliegt, einstweilen nur mehr oder weniger plausible Hypothesen aufstellen. Sicher ist, daß eine rein statische Betrachtung des Phänomens nicht ausreicht, da das Brechen selbst ein dynamischer Vorgang ist und mit *zeitlich veränderlichen* induzierten Spannungen einhergeht. Alle Aussagen der Statik, die die Zeit als Parameter nicht enthält, setzen jedoch Ruhelage des Körpers, Gleichgewicht der Kräfte in jedem seiner Teilbereiche und die Gültigkeit der Elastizitätstheorie, also reversible Vorgänge im Rahmen des Hookeschen Gesetzes voraus. Deshalb kann nicht erwartet werden, daß rein statische Betrachtungen eine befriedigende Antwort auf Kausalität, zeitlichen Ablauf und Resultat des Bruchvorganges liefern. Dies besagt jedoch nicht, daß die Gesetze der Statik keinerlei Beitrag zum Verständnis des vorliegenden Phänomens liefern können. Zur Zeit  $t = 0$  (bei Bruchbeginn) können sie als gute Nährung betrachtet werden und so zumindest die Ausgangsbedingungen des Geschehens beschreiben.

Die Hauptnormalspannungstrajektorien eines statisch auf Biegung beanspruchten homogenen Stabes sind, wie bei Leitz (1970) an einem biegebelasteten Plexiglasmodell dargestellt, identisch mit den Verbindungslinien der Hauptspannungsrichtungen (Neigungswinkel, unter denen an einem bestimmten Punkt die maxi-

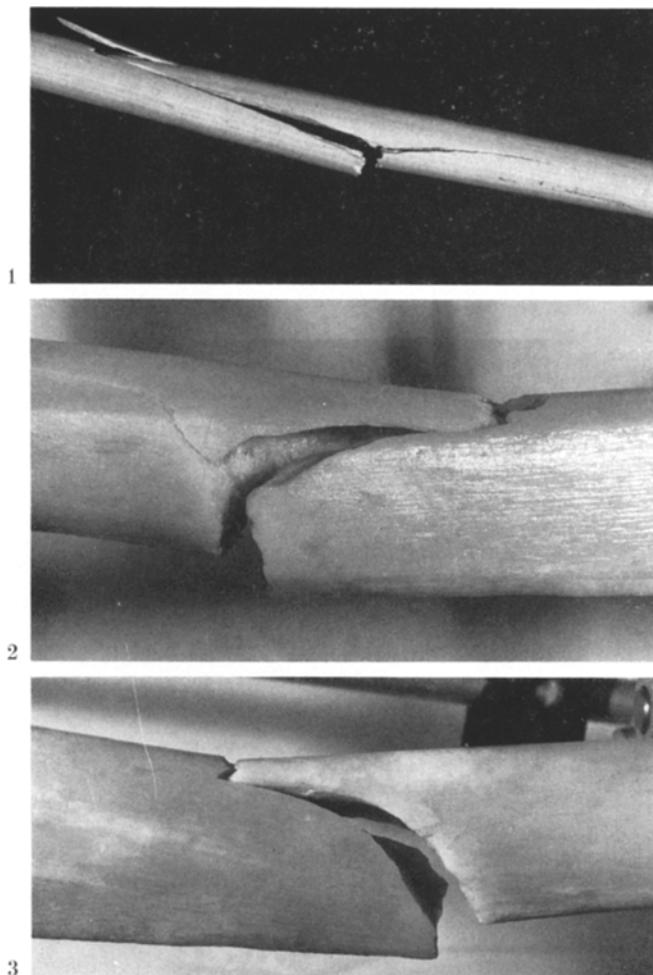


Abb. 1—3. Biegungsbrüche an einem Holzstab und an menschlichen Tibiaknochen

male Biegespannung auftritt). Die Biegedruckspannungslinien münden auf der Biegezugseite, und zwar senkrecht zur Stabkontur, dort, wo die Biegung am größten ist, und etwas spitzer nach beiden Seiten hin, wo die Biegung kleiner wird. Die Hauptdruckspannungslinien liefern aber ein Bild über zur Zeit  $t = 0$  angelegte mögliche Bruchverläufe, da sie senkrecht auf den Hauptzugspannungslinien stehen und ein Bruch ebenfalls am ehesten senkrecht zur Richtung der maximalen Zugspannung erfolgen wird.

Für den Röhrenknochen ist bekannt, daß seine Belastbarkeit durch statische Druckkräfte größer ist als durch statischen Zug. Ferner ist gesichert, daß die Biegespannungen am Rande ihre absoluten Maximalwerte annehmen, wogegen dort innere Scherspannungen verschwinden.

Es liegt deshalb der Schluß nahe, daß ein dynamisch biegebelasteter Röhrenknochen ebenfalls dort zu brechen anfängt, wo zur Zeit  $t = 0$  die größte Zugspannung herrscht, und zwar auf der Biegezugseite. Der Bruch wird sich also zeitlich von der Biegezug- zur Biegedruckseite hin ausbreiten. Diese Annahme ist durch Schnellkamera-Aufnahmen experimentell bestätigt (Sellier, 1965). Außerdem wird man erwarten, daß der Bruchverlauf, wenn überhaupt, dann sicher an seinem Beginn von dem statisch beschreibbaren Verlauf der inneren Spannungen zur Zeit  $t = 0$  abhängt. Man vergleiche nun den Verlauf der Hauptnormaldruckspannungslinien, die ein Bild für die Zeit  $t = 0$  angelegte Zusammenhangstrennungen abgeben mit dem Verlauf der als typisch beschriebenen Trennflächen beim dynamisch erzeugten Biegungsbruch. Die Übereinstimmung wichtiger Punkte, wie der annähernd rechtwinkelige Ursprung und das spitzwinkelige asymptotische Auslaufen, ist auffällig. Zu beachten ist, daß in der Praxis die einwirkende äußere Kraft meist auf einen breiten Bereich verteilt einwirkt und daß z. B. bei der Tibia die Massenverteilung keineswegs homogen und das Widerstandsmoment nicht konstant ist, so daß der Bruchbeginn nicht auf gleicher Höhe mit der einwirkenden Kraft zu erwarten ist.

### 3. Eigene Untersuchungen

Da eine exakte Frakturtheorie nicht existiert, bleiben nur zwei Möglichkeiten, die aufgestellte Hypothese über den Zusammenhang von Bruchverlauf und Richtung der äußeren Gewalteinwirkung beim Biegungsbruch menschlicher Röhrenknochen wenigstens auf phänomenologischer Ebene abzusichern. Entweder stellt man möglichst wirklichkeitsgetreue Experimente an, wobei man Richtung und Betrag der äußeren Kraft genau kennt, oder man analysiert Unfallvorgänge wie z. B. Pkw-Fußgänger-Kollisionen, bei denen die Richtung der Gewalteinwirkung erst im nachhinein ermittelt werden muß.

Im Rahmen der Analyse derartiger Unfallabläufe haben wir an Hand von 15 polizeilich einwandfrei aufgeklärten Pkw-Fußgänger-Kollisionen versucht, diagnostische Gesichtspunkte herauszuarbeiten, die die Klassifizierung und Interpretation derartiger Befunde auch bei der Obduktion erleichtern können.

#### a) Auswertung des Untersuchungsmaterials

Es handelte sich um 15 Personen im Alter von 36 bis 38 Jahren (4 Frauen, 11 Männer), die wegen Unterschenkelfrakturen — teilweise auch im Zusammenhang mit anderen Verletzungen — in stationärer Behandlung waren<sup>1</sup>. Ausgewertet wurden die klinischen Daten sowie insbesondere die vorliegenden Röntgenbilder. Lokalisation und Form der uns in diesem Zusammenhang besonders interessierenden Unterschenkelfrakturen wurden listenmäßig erfaßt und der Verlauf der Bruchlinien in ein Uhrzeitschema eingetragen (Abb. 4). Es handelte sich in sämtlichen Fällen um Biegungsbrüche, von denen in 7 Fällen jeweils nur 1 Unterschenkelknochen (4 Tibiafrakturen, 3 Fibulafrakturen) betroffen waren. In den übrigen 8 Fällen fanden sich Mehrfachfrakturen von Tibia und Fibula.

In 7 Fällen lagen eindeutige Keilbrüche an einem oder beiden Unterschenkelknochen vor. Sie zeigten eine Ausrichtung der Keilbasis zur exakt ermittelten Anstoßrichtung und, von der Basis her gesehen, konkav geformte Bruchflächen. Diese Fälle decken sich mit den aus der Literatur (u. a. Sellier, 1965) bekannten Vorstellungen über die Möglichkeit der Rekonstruktion der Anstoßrichtung aus dem charakteristischen Bild der sogenannten Messerer-Fraktur.

<sup>1</sup> Wir danken Herrn Prof. Dr. W. Frommhold, Direktor des Medizinischen Strahleninstituts der Universität Tübingen, für die freundliche Überlassung der klinischen Unterlagen.

Obduzent: ..... LNr.: .....  
Verkehrsdienst: ..... Sachbearbeiter: .....  
Unfall am: ..... in: .....

1. PKW

Typ: ..... Erstzulassung: .....

Vermutl. Anstoßstelle des US.:

Höhe: .....

## 2. Fußgänger

Geschlecht: ..... Alter: ..... Gewicht: ..... Körpergr.: .....

US-Durchmesser am Schienbeinkopf: re.: ..... li.: .....

Kniegelenk über SE: re:..... li:.....

Absatzhöhe: re:..... li:.....

Nach pol. Ermittl. angefahren von: ..... Uhr

#### Lokalisation der Beinbrüche (Nr.):

	Fuß	Tibia	Fibula	Knie	Femur
re.:					
li.:					

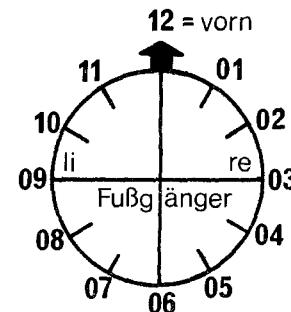


Abb. 4. Checkliste für Unterschenkelbrüche bei Pkw-Fußgänger-Kollisionen

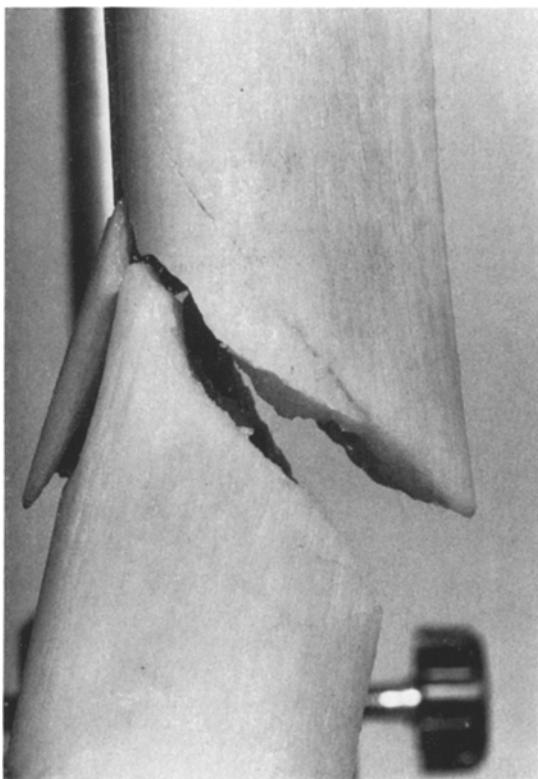


Abb. 5

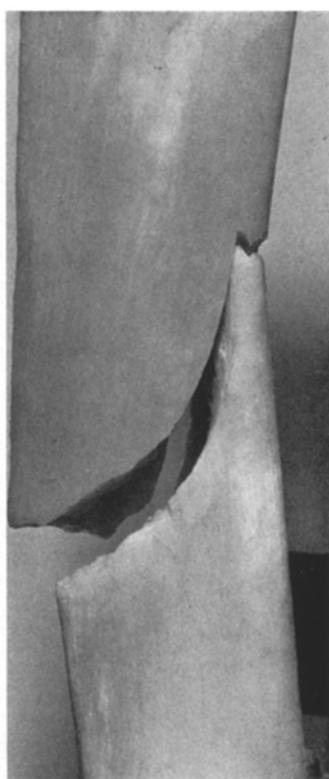


Abb. 6

Abb. 5. Linke Tibia von 3 Uhr her gesehen. Der Biegsungsbruch zeigt, von dieser Seite betrachtet, nicht mehr ausgeprägt typischen Verlauf. Dieser ist jedoch vor allem anhand der Begleitfissur noch erkennbar

Abb. 6. Rechte Tibia von 9 Uhr her gesehen. Man beachte den in dieser Konturaufnahme gut erkennbaren typischen Biegsungsbruchverlauf sowie den bei 6 Uhr wegfahrenden Restbruch mit geringen Knochenaussprengungen

Mit größeren Unsicherheiten ist dagegen die Auswertung von Schrägbrüchen behaftet. Hierbei kommt es auf eine exakte Befundaufnahme auch von feinen Fissuren an, insbesondere hinsichtlich ihrer Ausformung und Verlaufsrichtung. In 3 Fällen unseres Untersuchungsgutes lag eine Kombination von Schräg- und Keilbrüchen vor. Aus der Formung der Keilbrüche ließ sich auch in diesen Fällen die Anstoßrichtung rekonstruieren und durch die Ergebnisse der Ermittlungen bestätigen. Insofern erschien uns diese 3 Fälle geeignet, bei bereits bekannter Anstoßrichtung die gleichzeitig vorliegenden Schrägbrüche hinsichtlich ihrer Aussagekraft in bezug auf eine bestimmte Anstoßrichtung zu überprüfen. Die Schrägbrüche wiesen Bruchflächen auf, die, von der Anstoßseite her gesehen, einen konvexen Verlauf zeigten, so daß bei diesen kombinierten Frakturen kein Widerspruch zwischen Bruchverlauf und Anstoßrichtung festzustellen war.

In weiteren 4 Fällen handelte es sich um reine Schrägbrüche. Von der Verlaufsrichtung der Bruchflächen her ließ sich in 3 Fällen Übereinstimmung mit der polizeilich ermittelten Anstoßrichtung feststellen: Hier befand sich der spitze Winkel der Frakturlinie auf der Anstoßseite mit konvexem Verlauf der Bruchfläche zur Anstoßrichtung.

In einem weiteren Fall handelte es sich um einen Spiralbruch der Tibia, dessen spitzer Winkel etwa im Bereich des Anstoßes und dessen stumpfer Winkel etwa auf der gegenüberliegenden Seite lag. Auch hier ließ sich eine ungefähre Zuordnung der Fraktur zu dem ermittelten Unfallhergang vornehmen.

#### *b) Kasuistisches Beispiel*

Es handelt sich um die Auswertung eines tödlichen Pkw-Fußgänger-Unfalls, bei dem der Fußgänger, ein 32 Jahre alter Mann, beidseitige Tibiafrakturen erlitt. Beide Tibiae wurden bei der Sektion herauspräpariert und maceriert. Um die Anstoßrichtung zu ermitteln, fand eine spurentechnische Untersuchung des Unfall-Pkw und der Kleidungsstücke des Fußgängers statt.

#### *c) Spurentechnische Untersuchungen*

Die Rekonstruktion ergab, daß der Fußgänger direkt von hinten angefahren worden war. Sie stützte sich vor allem auf die folgenden Punkte: Der rechte vordere Kotflügel war stark gestaucht, Blinker und Scheinwerfer waren zerstört. An den Rändern der Blinkereinfassung und an der Scheinwerfereinfassung fanden sich Textilfaserantragungen, die mit den Hauptfaserkomponenten der Hose des Getöteten übereinstimmten. An der Rückseite des linken Hosenbeines, ca. 35 cm über dem Saum, lag eine waagerecht verlaufende Druck- und Schürfspur, die auf Grund ihrer Gestalt und Lage sowie übertragener, gelblicher Glassplitterchen als Berührungsstelle mit dem Blinker zu betrachten war. An der Rückseite des rechten Hosenbeines fanden sich deutliche blaue Lackstreifspuren.

#### *d) Form und Verlauf der beiden durch den Stoßstangenanstoß gesetzten Tibiabrüche*

Die folgenden Aufnahmen (Abb. 5 u. 6) zeigen deutlich den typischen Biegebruchcharakter der beiden Frakturen. Die spurentechnisch ermittelte Anstoßrichtung weist von hinten nach vorn, der Anstoß erfolgte also von 6 Uhr her. Beide Bruchbilder weisen hier spitze Mündungswinkel der Bruchflächen, Restbrüche und ausgesprengte Knochenschuppen auf. Bei 12 Uhr zeigen sie jedoch stumpfe Mündungswinkel der Bruchflächen, die bei der rechten Tibia, wo der Bruch höher und damit der Gewalteinwirkung (Stoßstange auf oberes Drittel der Tibia) näher verläuft, fast senkrecht münden.

### **4. Diskussion**

Nach dem Ergebnis unserer Studie sind bei entsprechend exakter Befunderhebung bereits aus Art und Verlauf der Unterschenkelbrüche verletzter Fußgänger weitgehende Aussagen in bezug auf die im Rahmen der Unfallrekonstruktion besonders interessierende Anstoßrichtung zu ziehen. Das gilt insbesondere für Biegungsbrüche mit vollständigen oder unvollständigen Keilfragmenten. Unsere an Röntgenaufnahmen erhobenen Befunde weisen somit Übereinstimmung mit den Untersuchungen von Sellier (1965) sowie Reinhardt u. Zink (1973) auf, die ein entsprechendes Obduktionsmaterial bearbeitet haben.

In der gerichtsmedizinischen Praxis besteht gelegentlich die Gefahr, bei der Obduktion feine Fissuren zu übersehen, die jedoch für die Rekonstruktion des Unfallherganges später von Bedeutung werden können. Aus dieser Erfahrung heraus und zur Vereinfachung einer exakten Befunderhebung an der Leiche sowie

als Anregung für eine überregionale Erfassung typischer Unfallabläufe haben wir einen Erhebungsbogen entworfen, der in Abb. 4 dargestellt ist. Dieser Erhebungsbogen ermöglicht auf einen Blick eine Orientierung über die wichtigsten Daten des Fahrzeuges sowie des verletzten Fußgängers und kann die Auswertung der Befunde erheblich vereinfachen.

Wie die von uns untersuchten klinischen Fälle und das kasuistische Beispiel gezeigt haben, ist es durchaus möglich, aus dem Verlauf und der Art von Unterschenkelfrakturen einerseits sowie spurentechnischen Untersuchungen andererseits schlüssige Aussagen über den Ablauf von Pkw-Fußgänger-Kollisionen im Einzelfall zu machen. Voraussetzung hierfür ist jedoch eine exakte Befunderhebung mit eingehender präparativer Darstellung insbesondere der knöchernen Verletzungen. Im Einzelfall kann es angezeigt sein, eine Maceration der verletzten Knochen vorzunehmen, um bei der Obduktion leicht zu übersehende Fissuren darzustellen. Darüber hinaus hat sich die Auswertung von Röntgenaufnahmen für die Unfallrekonstruktion bewährt.

In der Praxis ist jedoch nicht immer damit zu rechnen, den dargestellten typischen Bruchverlauf anzutreffen. Ein Biegungsbruch muß nicht immer in typischer Weise verlaufen. Diese Fraktur ist aber durch besondere Häufigkeit ausgezeichnet; wenn sie vorliegt, sollte die Information, die sie liefert, unbedingt genutzt werden. Konturaufnahmen der Bruchflächen und die Auswertung der Checkliste können zu einer optimalen Ausnutzung der durch die Obduktion zu erhaltenen Informationen führen.

### Literatur

- Dürwald, W.: Gerichtsmedizinische Untersuchungen bei Verkehrsunfällen. Leipzig: Edition 1966
- Gögler, E.: Chirurgie und Verkehrsmedizin, Klinik, Mechanik und Biomechanik des Unfalls. In: Handbuch der Verkehrsmedizin von K. Wagner und H.-J. Wagner. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1968
- Heifer, U.: Untersuchungen tödlicher Straßenverkehrsunfälle mit Methoden der elektronischen Datenverarbeitung. Zbl. Verkehrs-Med. **13**, 129–172 (1967)
- Leitz, G.: Ursachen des Bruchverhaltens langer Röhrenknochen. Stuttgart: Enke 1970
- Patscheider, H.: Über Aufprallverletzungen der unteren Gliedmaßen bei Straßenverkehrsunfällen. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **54**, 336–366 (1963)
- Sellier, K.: Zur Mechanik des Knochenbruchs. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **56**, 341–348 (1965)
- Zink, P., Reinhardt, G.: Anstoßverletzungen am Unterschenkel bei Verkehrsunfällen. Vortrag 52. Jahrestagung d. Dtsch. Gesellschaft f. Rechtsmedizin, München, 1973

Dr. med. H.-J. Mittmeyer  
 Institut für Gerichtliche Medizin der Universität  
 D-7400 Tübingen, Nägelestraße 5  
 Bundesrepublik Deutschland