

Aus dem Institut für gerichtliche Medizin der Universität Innsbruck
(Vorstand: Prof. Dr. FRANZ JOSEF HOLZER)

Über Anprallverletzungen der unteren Gliedmaßen bei Straßenverkehrsunfällen*

Von

H. PATSCHEIDER

Mit 13 Textabbildungen

(Eingegangen am 1. Dezember 1962)

I. Allgemeines

Mit der ständig zunehmenden Zahl der Kraftfahrzeuge ist ein deutliches Ansteigen der Unfallziffern erkennbar. So ereigneten sich in Österreich im Jahre 1958 39 tödliche Verkehrsunfälle auf je 10000 Kraftwagen. Es ist dies eine der höchsten Unfallziffern in Europa. Dementsprechend hat auch die Zahl der nichttödlich endenden Körperbeschädigungen erheblich zugenommen. Darüber hinaus aber ist, verglichen mit den im Jahre 1938 beobachteten Verletzungen bei Unfällen im Straßenverkehr (BUHTZ), auch eine Zunahme ihrer Schwere und Intensität festzustellen, wie dies K. H. BAUER und RICKLIN nachgewiesen haben. Dies ist wohl in erster Linie auf die heute vorherrschende Beteiligung von Kraftwagen im Straßenverkehr zurückzuführen, wobei neben der Masse des Fahrzeuges im besonderen die Geschwindigkeit, erhebliche Bedeutung besitzt. Ist sie es doch, die in erster Linie für die schweren Verletzungen verantwortlich ist (DETLING), da bei bewegten Körpern die Wucht des Aufpralls mit dem Quadrat der Geschwindigkeit wächst. Wenn man bedenkt, daß beim Anprall eines mit 50 km/h Geschwindigkeit fahrenden PKW dieselbe Energiemenge umgesetzt wird, wie wenn das Fahrzeug aus einer Höhe von 9,8 m frei herabstürzen würde, während das Äquivalent für eine Geschwindigkeit von 70 km/h bereits 22 m Sturzhöhe beträgt (BITZEL), werden die bei Unfällen wirksamen Energiemengen besser anschaulich.

Daß nun solchen Gewalten gegenüber der ungeschützte Körper eines Fußgängers besonders gefährdet ist, liegt auf der Hand und wird immer wieder betont (BRÜCKNER). In der Schweiz z. B. stellen nach DETLING die Fahrzeuglenker 37%, die Fußgänger aber 61% der Verkehrstoten. Nach den Untersuchungen von K. H. BAUER (Heidelberg) erhöht sich dort unter den Verkehrsverletzten der Anteil der Fußgänger auf 67%. In Österreich starben im Jahre 1959 von 13663 verletzten PKW-In-

* In Anlehnung an einen Vortrag auf der Tagung der Deutschen Gesellschaft für gerichtliche und soziale Medizin vom 30. 9. bis 3. 10. 1962 in Münster i. Westf.

sassen 333, von 11 898 verletzten Fußgängern jedoch 606. Unter den 609 obduzierten Straßenverkehrstoten im Einzugsgebiet unseres Institutes (in den Jahren 1950—1960) fanden wir 226 oder 37,9% Fußgänger. Dieser Wert bezieht sich lediglich auf die Zahl der durchgeführten Leichenöffnungen, bietet jedoch zu den vorgenannten keine Vergleichsziffer, da nicht bei allen tödlichen Verkehrsunfällen Obduktionen vorgenommen werden.

Die Fußgänger stellen die am meisten exponierte und daher am stärksten gefährdete Gruppe der Verkehrsteilnehmer dar. Deshalb kommt gerade der Untersuchung dieser Verletzten eine besondere Bedeutung für die Begutachtung zu.

Dafür ist die wichtigste Voraussetzung eine bis ins letzte Detail gehende rechtzeitige Erhebung und Beschreibung der Befunde, weil nur dadurch der für die rechtliche Beurteilung so bedeutende Hergang des Unfalles rekonstruiert werden kann. Während an Fahrzeugen Deformationen auch noch nach langer Zeit Aufschlüsse erlauben, heilen geringfügige Verletzungen, wie Blutunterlaufungen oder Abschürfungen — die später bei einer Begutachtung Wichtigkeit erlangen können — rasch wieder ab. Werden sie nicht frühzeitig und genau registriert, ist unter Umständen die Rekonstruktion sehr erschwert oder mitunter sogar unmöglich.

Heute ist die Zahl der im Straßenverkehr Verletzten so groß geworden, daß wohl nur in selteneren Fällen der gerichtsärztlich Geschulte sie als erster zu untersuchen Gelegenheit hat. Es hat sich der Kreis jener, die sich mit solchen Fragen zu beschäftigen haben, wesentlich ausgedehnt und erfaßt in erster Linie den therapeutisch tätigen Arzt. Damit aber liegt es zum größten Teil an diesem, neben seiner Hauptaufgabe, der ärztlichen Hilfe, die sich bietenden Befunde festzuhalten, um damit einer späteren Begutachtung die Grundlagen zu sichern. Selbstverständlich steht bei einem Unfall die Versorgung des Verletzten im Vordergrund. Dennoch muß man verlangen, daß auch die — nicht so selten „belanglos“ genannten — Verletzungen festgestellt werden, die dann häufig im Rahmen der rechtlichen Beurteilung zu entscheidender Bedeutung aufrücken.

Es handelt sich hier vorwiegend um die Feststellung von Abschürfungen, Quetsch- oder Platzwunden oder gar nur von Blutunterlaufungen. Wenn aber solche gefunden werden, heißt dies, in die Sprache des Gutachters übertragen, daß an dieser Stelle eine stumpfe Gewalt eingewirkt haben mußte. Daraus ergeben sich aber bereits weitere Fragen. Es wird zu entscheiden sein, ob diese Verletzung vom Anprall eines Kraftfahrzeuges herrührt oder ob sie durch Berührung mit dem Boden oder Aufprall an andere Hindernisse zustande kam. Damit aber ist einer der entscheidenden Pfeiler der gesamten Unfallrekonstruktion erreicht.

Die möglichst genaue Kenntnis der bei Verkehrsunfällen ablaufenden Vorgänge, die „Dynamik und Kriminalistik“ des Verkehrsunfalles, wie sie BREITENECKER bezeichnet, ist die unerläßliche Voraussetzung hierzu. Eingehende und umfassende Untersuchungen dieses Fragenkomplexes sind von BUHTZ (1930), REMUND (1931), LAVES, BITZEL und BERGER (1956), sowie KULOWSKI (1960) erschienen. DETTLING und PROKOP haben in ihren Lehrbüchern diesem Gebiet eigene Abschnitte gewidmet.

Es hat sich als notwendig erwiesen, möglichst einfache und klare Bezeichnungen für die verschiedenen, bei Verkehrsunfällen zu Verletzungen führenden Vorgänge zu verwenden. Es empfiehlt sich, die von BUHTZ definierten Begriffe „Anprall“ oder „Aufprall“ heranzuziehen, da sie keinen Zweifel offen lassen. Dabei ist unter „Anprall“ die Berührung des menschlichen Körpers mit einem Fahrzeug zu verstehen, gleichgültig ob dieses einen Menschen erfaßt oder ob dieser als Insasse gegen die Innenfläche des Fahrzeuges geschleudert wird. Andererseits besagt die Bezeichnung „Aufprall“, daß der von einem oder aus einem Fahrzeug weggeschleuderte Mensch an diesem oder einem anderen Objekt auffällt.

Die Anprallverletzungen von Fahrzeuginsassen sollen nur kurz geschildert werden, da wir das Hauptinteresse den Verletzungen der Fußgänger zuwenden. Neben den Verletzungen des Schädels durch Anprall an der Windschutzscheibe oder an den vorderen und seitlichen Dachstreben gilt als charakteristische Anprallverletzung beim Autolenker die Thoraxkontusion, häufig verbunden mit Aorten- oder Herzrupturen, die durch Anprall des Oberkörpers am Lenkrad entstehen. An den unteren Gliedmaßen treten mehrere charakteristische Anprallverletzungen auf, unter denen die durch Abbremsung des Kniegelenkes am Armaturenbrett entstandenen die häufigsten Verletzungen der Autoinsassen überhaupt darstellen (BÜTTNER und FRIEDHOFF). Kommt es zur Fernwirkung des Kraftstoßes im Bereich des Oberschenkels und Beckens, können Knochenbrüche auftreten, die in besonderen Fällen Schlüsse auf die Sitzordnung im Fahrzeug zulassen. VOLLMAR und BENZ haben keilförmige Brüche des Femur beobachtet, die sie als Biegungsfraktur auffassen. Nach unserer Meinung kann hingegen allein eine Längsstauung des Oberschenkelknochens zu demselben Ergebnis führen. Erfolgt der Anprall am Armaturenbrett mit übergeschlagenen Beinen, so ist an der adduzierten Extremität eine Schenkelhalsfraktur oder Hüftgelenksluxation möglich (KULOWSKI). Bei besonders hohen Anprallgeschwindigkeiten wurden auch Zerreißen des Oberschenkelkopfes beobachtet (SEIFERT, PIPKIN). Auch sogenannte „Mehrfachbrüche“ des Unter- und Oberschenkels können durch den gleichen Mechanismus auftreten (KOSLOWSKI und RAUCH). Die Möglichkeiten der genannten Knochenverletzungen zeigt die Abb. 1.

Von TITZE wurde über Stauchungsbrüche der Fersenbeine berichtet, die durch schlagartiges Anprallen der Füße auf der vorderen, schrägen Bodenplatte eines PKW bei plötzlichem Abbremsen entstanden.

Besonderes Interesse beanspruchen die Anprallverletzungen des Fußgängers, da sie unter den bei uns herrschenden Straßenverkehrsverhältnissen am häufigsten vorkommen. Gleichzeitig besitzen sie für die rechtliche Beurteilung größte Bedeutung, weil am unfallbeteiligten

Menschen die Kenntnis der Art, Lage und gegenseitigen Beziehung der Verletzungen die *einzig*e Möglichkeit bietet, den Unfallablauf zu rekonstruieren. Hierfür sind Form und Sitz der Anprallverletzung von entscheidender Bedeutung. Es kann daraus auf die Gestalt, Stellung und Einwirkungsrichtung des verletzenden Fahrzeugteiles geschlossen werden. Deshalb ist es erforderlich, neben der Aufzeichnung der Form und Beschaffenheit einer Verletzung auch ihre Lage, bezogen auf die normale Fußstellung des stehenden Menschen (dorsal, lateral usw.) fest-

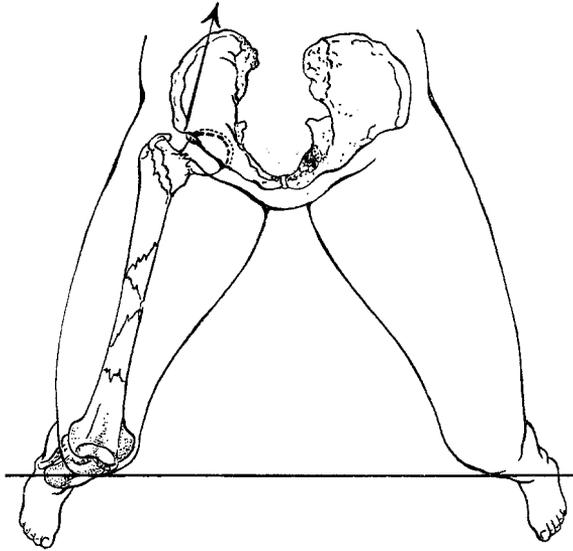


Abb. 1. Aus KULOWSKI: Crash injuries

zuhalten. Außerdem gestattet die so wichtige Messung des Abstandes zur Fußsohle weitreichende Schlüsse auf die Höhe des einwirkenden Teiles über der Fahrbahn.

Der folgende Fall illustriert dies sehr deutlich und zeigt gleichzeitig die Folgen der ungeheuren, beim Anprall frei werdenden Energie.

Prot.-Nr. 271/59: Ein 38jähriger, beim Transport in das Krankenhaus verstorbener Mann wies einen Querbruch des linken Unterschenkels, der 33 cm, und einen gleichartigen Bruch des linken Oberschenkels, der 77 cm über der Fußsohle lag, auf. Über der linken Schienbeinkante fand sich eine kleine Quetschwunde, während die Haut und Weichteile der linken Wade infolge Durchspießung breit klaffend aufgerissen waren. Neben diesen Verletzungen fand sich eine vom Beckenkamm durch die linke Leistenbeuge herabziehende Rißwunde, die medial in der Afteröffnung endete und nach lateral in Dehnungsrisse der Haut auslief. Die Verletzungen waren durch den Anprall eines von vorne kommenden schweren PKW (Buick) entstanden. Ihre Lage und Intensität lassen geradezu die einzelnen Phasen des Anprallgeschehens ablesen. Durch die Stoßstange entstand der Unterschenkelbruch, durch den Rand des Scheinwerfergehäuses der Bruch des Oberschenkels.

Die Trägheit des Körpers gegenüber dem rasch bewegten Fahrzeug führte zu einer mächtigen Abduktion des linken Beins nach rückwärts, so daß es zur Überdehnung und Zerreißung der Haut an der Oberschenkel-Beckengrenze kam. Damit war jedoch die einwirkende Gewalt noch nicht erschöpft und es entstand im weiteren Verlauf eine breite Sprengung der Symphyse und der linken Kreuz-Darmbeinverbindung, bevor der Mann weggeschleudert wurde.

Bei den meisten Kraftwagen ist die Stoßstange der am weitesten vorne liegende Teil. Sie wird deshalb meist den ersten Berührungspunkt mit dem Körper gewinnen und im weiteren Verlauf an dieser Stelle Verletzungen setzen. Ihre Höhe über der Fahrbahn schwankt innerhalb der einzelnen Fahrzeugtypen, ist aber auch vom Zustand der Straße und von der Belastung des Fahrzeuges abhängig. Im allgemeinen darf ihr Abstand von der Fahrbahn bei Personenkraftwagen mit 20—45 cm angenommen werden. Beim Lastkraftwagen liegt die Stoßstange meist höher. Dementsprechend findet man in solchen Fällen, die relativ selten vorkommen, die Anprallverletzung meist am *Oberschenkel* oder im *Hüftbereich*. In diesem Gebiet sind auch Verletzungen, die durch das Scheinwerfergehäuse oder die Scherben der zertrümmerten Scheinwerferscheibe entstehen, zu erwarten. Solche zeigen öfters die Gestalt halbmondförmiger, meist nach oben konvexer Abschürfungen oder Blutunterlaufungen.

Da Unfälle durch Personenkraftwagen viel häufiger sind, interessieren besonders die dabei am Unterschenkel entstehenden Verletzungen. Wir werden die durch den Anprall der Stoßstange gesetzten Beschädigungen je nach der betroffenen Gewebsschicht gesondert behandeln. Vorauszuschicken ist, daß leider häufig eine Untersuchung der *Kleider* unterbleibt, da auch an diesen als der „äußersten Hülle des Körpers“ (F. SCHWARZ) sehr wertvolle Anhaltspunkte gefunden werden können. So z.B. Abdrücke von Reifenprofilen, Lackspuren und besonders geformte Zerstörungen der Textilien. Nach unseren Erfahrungen liefert besonders auch die Untersuchung der Schuhe wesentliche Hinweise. Die früher oft gesehenen Kratzspuren an den Sohlen oder -nägeln, an denen die Richtung des Gleitens auf der Fahrbahn erkennbar ist (DETLING), sind heute selten geworden. Die hohe Haftfähigkeit der häufig verwendeten Gummisohlen verhindert meist die Entstehung von Gleitspuren, bedingt aber andererseits Zerreißen der Schuhbänder oder des Oberleders, die durch Weiterbewegung des Fußes im festhaftenden Schuh zustande kommen. Die Differenzen der Beschädigungen zwischen beiden Schuhen lassen Schlüsse auf das Stand- bzw. Spielbein im Augenblick des Anpralls zu, wie dies die nachstehenden Fälle zeigen.

Prot.-Nr. 316/60: Ein 50 Jahre alter, betrunkenener Mann wird durch einen PKW von rückwärts angefahren und etwa 50 m weit nach vorne geschleudert, wo er tot liegenblieb. Lokalbefund: Breit offener Trümmerbruch des rechten Unterschenkels. Der rechte Fuß steht nur mehr durch die Sehnen der Waden-

muskulatur mit dem Unterschenkel in Verbindung. Der linke Fuß ist knapp oberhalb des Sprunggelenkes vollständig abgerissen. Der rechte Halbschuh zeigte eine frische Zerreißenung des Schuhbandes, während der linke eine breite Zerreißenung am Vorderteil des Oberleders aufwies. Es mußte hier das linke Bein das Standbein gewesen sein, das mit voller Wucht getroffen und daher abgerissen worden war, während die bereits reduzierte Energie am rechten Bein weniger schwere Zerstörungen setzte.

Prot.-Nr. 212/56: Der 54jährige Mann wurde von rückwärts durch einen PKW erfaßt und niedergestoßen. Er soll sofort tot gewesen sein. Lokalbefund: Der linke Unterschenkel ist im oberen Drittel zertrümmert, die Haut an der Vorderseite durchspießt. Am rechten Unterschenkel fand sich unter einer Abschürfung an der Wade ein Schrägbruch beider Unterschenkelknochen. Der hohe Schuh links zeigte einen Abriß des Absatzes von der Schuhsohle, der rechte Schuh lediglich eine Zerreißenung des Schuhbandes. Ließ bereits die Verschiedenheit der Knochenbrüche annehmen, daß das linke Bein belastet war, ist dies durch die Beschädigungen der Schuhe erwiesen. Da auf dem linken Bein der größte Teil des Körpergewichtes ruhte, war die Reibung des Schuhs gegenüber der Fahrbahn größer als rechts. Es kam daher auf der linken Seite zu wesentlich größeren Zerstörungen, sowohl der Gliedmaße als auch der Fußbekleidung.

II. Befunde

A. Hautverletzungen

Diese sind sehr mannigfach. Man sollte erwarten, daß bei heftigem Anprall zumindest eine *Abschürfung* oder *Hautvertrocknung* entsteht. Dies ist auch meist dann der Fall, wenn die Gewalteinwirkung den Unterschenkel von vorne her trifft, da hier die Haut gegen den unmittelbar darunterliegenden Knochen gepreßt wird, der auf diese Weise als Hypomochlion wirkt. Auch bei Einwirkung von lateral her ist dies über dem Wadenbeinköpfchen oder -knöchel zu sehen, während sie bei Anprall an der Wade, offenbar durch die Polsterwirkung der Muskulatur bedingt, vorhanden sein kann, aber selbst bei hoher Geschwindigkeit keineswegs entstehen muß (BUHTZ, MUELLER, DETTLING, WÖLKART).

In unserem eigenen Material von 41 Fällen fanden wir bei 4 von vorne Angefahrenen dreimal, bei den seitlich Angefahrenen in allen 10 Fällen und bei 27 von rückwärts Angefahrenen sechzehnmal eine Abschürfung bzw. Hautvertrocknung.

Diese kann nun unregelmäßig gestaltet, oder mehr minder deutlich geformt sein. Geformte Abschürfungen weisen darauf hin, daß hier ein ihrer Gestalt entsprechender Teil eingewirkt hat. Meist sind sie kleiner als dies den Ausmaßen etwa des Nummernschildes, des Scheinwerfergehäuses oder sonstiger vorragender Teile entspricht. Dies ist bedingt durch die starke Dehnung der Haut im Augenblick des Anpralls, die in diesem Zustand eine Zerrung oder Schürfung des Epithels erleidet und sich nach Aussetzen des Druckes wiederum retrahiert. Der früher häufige gitterförmige Abdruck des Kühlermusters (DETLING) wird

heute nicht mehr beobachtet, da der Kühler hinter der zweckmäßigerweise abgerundeten Verkleidung verborgen bleibt. An Abschürfungen, auch unregelmäßig geformten, können wichtige Hinweise auf die Richtung der einwirkenden Kraft gewonnen werden. ORSÓS zeigte, daß bei tangentialen Kraftangriff das Epithel in Richtung der Gewalt abgelöst und an dem, dem ersten Berührungspunkt gegenüberliegenden Rande als „Epithelmoräne“ zusammengeschoben wird.

Neben Abschürfungen oder als Folge stärkeren Druckes auf die Haut werden *Quetschwunden* beobachtet. Solche Quetschwunden können nun Anlaß zu Schwierigkeiten bei der Beurteilung geben, weil verschiedene Ursachen zum gleichen anatomischen Bild führen können. Zunächst kann es durch Anpressung der Haut und deren nachfolgender Durchquetschung über dem Knochen zur Entstehung derartiger Wunden kommen. Gleiche Bilder können aber auch auftreten, wenn unmittelbar im Anschluß an die Kompression der Haut, oder gleichzeitig, ein tangentialer Zug ausgeübt wird, wie dies bei Einwirkung bewegter Reifen zu sehen ist (BUHTZ, DETTLING, PONSOLD). In einem solchen Falle liegt eine echte *Rißquetschwunde* vor. Es können auch bei *Hautdurchspießungen* durch ein Bruchfragment Wunden entstehen, die ihrem Aussehen nach Quetschwunden entsprechen, nach ihrer Entstehungsart aber keine sind. Derartige Perforationen sind meist kleinere Hautlücken, können aber bei entsprechend heftigem Anprall auch große Ausdehnung erreichen. Im letzteren Fall sind ihre Ränder häufig glatt, nicht geschürft und können in spitzem Winkel ineinander übergehen. Sie ähneln damit weitgehend dem Aussehen von Schnitt- oder Stichwunden. Schwierig wird die Beurteilung, wenn sich an der Leiche ein Vertrocknungssaum am Rande derartiger, kleinerer Durchspießungsverletzungen entwickelt (MUELLER), der oft kaum von einer Abschürfung zu unterscheiden ist. Gleichartige Vertrocknungen, oder auch echte Abschürfungen können aber auch intravital auftreten, wenn das vordringende Knochenstück die Haut gegen ein ihr anliegendes Hindernis preßt, wie dies z. B. der Fall sein kann, wenn der Unterschenkel eingeklemmt ist oder bei nachträglichen Hinstürzen die bereits an einer Unterlage abgestützte Haut durchbohrt wird. Auch fest anliegende Bekleider können bei einer Knochendurchspießung Abschürfungen bewirken. Es liegen hier ähnliche Verhältnisse vor, wie sie MELXNER an Ausschußwunden festgestellt hat. Eine sichere Differentialdiagnose zwischen Abschürfung und Vertrocknungssaum ist nach den Ergebnissen histologischer Untersuchungen von MUELLER an der Leiche nicht möglich. Hingegen ist dies am Leben sehr wohl durchführbar. Es empfiehlt sich daher, bei der operativen Versorgung offener Knochenbrüche die excidierte Hautwunde zur histologischen Untersuchung aufzubewahren. Bei auch nur kurze Zeit überlebten Verletzungen wird auf Grund der reparativen Vorgänge in ihrem

Bereich eine sichere Diagnose möglich sein (RAEKALLIO). Es muß bei solchen Untersuchungen auch versucht werden, Fremdkörper im Wundgebiet nachzuweisen.

In unserem eigenen Material fand sich unter 14 Unterschenkelbrüchen mit Durchspießung der Haut nur bei einem Fall ein Vertrocknungssaum. Seine Entwicklung ist weitgehend vom Zeitraum bis zur Obduktion und der Lagerung der Leiche (feucht, trocken) abhängig.

Die Unterscheidung zwischen Durchspießung und Quetschwunde besitzt auch eine erhebliche Bedeutung für den Chirurgen. Wie BÖHLER u. Mitarb. betonen, ist die Heilungsprognose bei Quetschwunden durch die damit verbundene größere Traumatisierung der Haut schlechter als bei einer glatten Durchspießung. Nach den Ergebnissen dieser Autoren finden sich bei direkten Brüchen in 42,9% keine Wunden im Bruchbereich, hingegen in 60% eine Traumatisierung der Haut.

Wie gezeigt wurde, ist das Fehlen von Oberhautverletzungen kein Grund, eine direkte Gewalteinwirkung auszuschließen. Wie mehrfach mitgeteilt wurde (BUHTZ, DETTLING, WÖLKART, PONSOLD, MERKEL und WALCHER) und eigene Erfahrungen ergeben haben, ist in allen Fällen, bei denen eine direkte Gewalteinwirkung den Unterschenkel traf und keine Verletzung der Oberhaut nachzuweisen ist, bei der Obduktion an tiefen Einschnitten immer eine Blutunterlaufung der Unterhaut oder der Muskulatur festzustellen. Nicht selten sind auch bei Fehlen äußerlich erkennbarer Hautverletzungen *umschriebene Zertrümmerungen des subcutanen Fettgewebes* zu finden, die als sicherer Hinweis auf einen Anprall an dieser Stelle gewertet werden dürfen.

B. Weichteilverletzungen

Die Bedeutung und Beweiskraft festgestellter Weichteilverletzungen liegt nicht so sehr in diesen selbst, als in dem Umstand, daß sie eine willkommene Ergänzung der an der Haut und am Knochen erhobenen Befunde darstellen. Man könnte versucht sein anzunehmen, daß die Weichteile des Unterschenkels bei einem Anprall unregelmäßig komprimiert werden und dabei von der *Blutunterlaufung* bis zur vollständigen *Zerreißung* alle Verletzungsgrade wahllos auftreten können. Dies trifft dann zu, wenn entweder kein Knochenbruch vorliegt oder Splitter- bzw. Trümmerbrüche der Unterschenkelknochen bestehen. Findet man eng begrenzte lokale Blutunterlaufungen oder Zertrümmerungen der Muskulatur, ist hier eine Kraftübertragung durch kleinere Flächen erfolgt. Solche Befunde dürfen daher als Hinweis auf einen Anprall in ihrem Bereich angesehen werden.

Die genaue Untersuchung der Muskulatur, der Fascien und der übrigen Unterschenkelweichteile leistet bei der Beurteilung von Durchspießungsverletzungen wertvolle Hilfe, wenn auf Grund der Hautwunde

allein eine sichere Diagnose nicht möglich ist. An der Leiche wird am besten schichtweise präpariert, wie dies MERKEL und WALCHER für die Untersuchung von Schußkanälen angegeben haben. Gelingt es dabei, einen sich gegen die Oberfläche zu verjüngenden Stichkanal nachzuweisen, wird bei gleichzeitigem Bestehen eines Knochenbruches kein Zweifel mehr bestehen, daß es sich um eine Durchspießung handelt. Liegen jedoch, wie dies gelegentlich zu sehen ist, breite Durchtrennungen der Weichteile vor, muß hier versucht werden, in den tiefer gelegenen Abschnitten nach Kleiderfasern und Schmutz- oder Farbteilchen zu fahnden (DETLING, PONSOLD). Werden solche gefunden, spricht dies analog den Verhältnissen eines Schußkanals für eine Einschleppung durch einen von der Oberfläche her vordringenden Gegenstand und damit gegen das Vorliegen einer Durchspießung.

C. Knochenverletzungen

Da das feste Gefüge des Knochens nach einem Bruch keine unmittelbare Formänderung mehr erfährt, waren Lage und Art der Fraktur von jeher Gegenstand besonderen Interesses der Gutachter. Unter den zahlreichen Einteilungsarten der Knochenbrüche ist für unsere Fragestellung nur die Unterscheidung *direkter und indirekter* Frakturen von Bedeutung. Nachdem alle sogenannten „Stoßstangenfrakturen“, die „bumper fractures“ der angloamerikanischen Literatur, direkte Brüche sind, ist damit bereits gesagt, daß sie am Ort des Kraftangriffes auftreten.

Die Messung des Abstandes der Frakturstelle von der Ferse ist besonders wichtig, da daraus die *Höhe* des verletzenden Fahrzeugteiles erschlossen werden kann, wobei hier viel geringere Schwankungen festzustellen sind, als dies bei den Verletzungen der Haut und der Weichteile der Fall ist. In unseren Obduktionsfällen liegen die durch Anprall der Stoßstange von Personenkraftwagen entstandenen Unterschenkel- oder Schienbeinbrüche 20—40 cm von der Ferse entfernt. Diese Schwankungsbreite hat dieselben Ursachen wie die bei den Hautverletzungen genannten. Isolierte Brüche des Wadenbeins liegen ebenfalls in der angegebenen Höhe, jedoch streuen die hier gefundenen Werte etwas breiter. Die hohe Biegeelastizität der schlanken Fibula ist hier wohl die Ursache. Es erhält somit die strenge Definition des „direkten“ Bruches für solche Fälle etwas weitere Grenzen.

Besonders große Höhendifferenzen zwischen den Bruchstellen des Schien- und Wadenbeins treten dann auf, wenn die direkte Fraktur nur die Tibia betrifft. Das Wadenbein als „Sperrknochen“ (ROSENFELD) erhält die Bewegung der Tibiabruststücke durch die Bandverbindungen mitgeteilt und bricht auf diese Weise indirekt. Hier können nun Höhenunterschiede auftreten, die in unserem Material bis zu 12 cm unter- oder oberhalb der Schienbeinbruchstellen erreichen.

In vereinzelt Fällen kann bei Stoßstangenfrakturen des Unterschenkels das untere Fragment gegen das Fahrzeug zu verschoben sein (DETLING), wie das folgende Röntgenbild (Abb. 2) zeigt. Das Erhaltenbleiben einer ursprünglichen *Dislokation* ist nur dann zu erwarten, wenn der Verletzte nicht weggeschleudert oder überfahren wird. Meist muß jedoch damit gerechnet werden. Es kann dabei zu einer weiteren, sekundären Verschiebung der Bruchstücke gegeneinander kommen. Erst recht ist dies bei Leichen zu erwarten, weil hier der Tonus der Muskulatur, der am Lebenden noch eine gewisse Erhaltung der Dislokation bewirkt, wegfällt. Hinzu kommt in diesem letzteren Fall noch, daß beim Transport erfahrungsgemäß unsanft umgegangen wird. Aus diesen Gründen sind wir daher der Auffassung, daß die Dislokation der Fragmente keine sicheren Schlüsse auf die Anstoßrichtung zuläßt.

Eine weitere erhebliche Bedeutung kommt der *Frakturform* zu, da sie Hinweise auf die Richtung der Gewalteinwirkung, vielleicht sogar auch auf deren Intensität liefern kann. Bei den Anprallverletzungen der unteren Gliedmaßen haben vor allem Knochenbrüche mit Aus-



Abb. 2. Dislokation bei Stoßstangenfraktur

sprengung eines keilförmigen Stückes besonderes Interesse erregt. Sie sollen im folgenden kurz als „Keilbrüche“ bezeichnet werden. Bei Vorliegen dieser Bruchform wird vielfach geschlossen, daß der Kraftangriff an der Basis des ausgebrochenen Keiles erfolgt sei. SJÖVALL ist der Meinung, daß bei dynamischer Beanspruchung dieselben Vorgänge wie bei statischer, d. h. Druckwirkung auf den Knochen, ablaufen und daher die Erkenntnisse von MESSERER auch hier uneingeschränkt gültig seien. Es darf bereits jetzt darauf hingewiesen werden, daß dies keineswegs immer der Fall ist. Aus diesem Grunde hat bereits MESSERER selbst zur Vorsicht in den Folgerungen gemahnt. In gleichem Sinne verweisen HAASE und RICHTER auf das Bedenkliche einer „schematischen Deutung“ von Bruchformen. Geschah dies bei den Genannten in erster Linie aus theoretischen Erwägungen, so zeigt auch die Praxis, daß sehr leicht Fehlurteile möglich sind. BREITENECKER sah Fälle, bei denen die Spitze des Bruchkeiles und nicht die Basis am Angriffspunkt der Gewalt lag. Wir können dies durch eine eigene Beobachtung bestätigen (Prot.-Nr. 319/60).

Ein 45 Jahre alter, betrunkenen Mann wird durch einen PKW von rückwärts angefahren, weggeschleudert und bleibt tot auf der Straße liegen. Bei der Leichenöffnung fanden sich neben zahlreichen schweren Verletzungen des Kopfes und der inneren Organe Stoßstangenfrakturen beider Unterschenkel, wobei der linke einen Trümmerbruch, der rechte einen Keilbruch, dessen Basis an der Tibiakante lag, zeigte.

Mit BREITENECKER und PROKOP muß deshalb vor einer bedingungslosen Übertragung der aus statischen Bruchversuchen gewonnenen Erkenntnisse auf die Verhältnisse bei Stoßstangenfrakturen gewarnt werden. Es ist zunächst erforderlich, die zum Knochenbruch führenden Vorgänge näher zu betrachten und erst dann zu prüfen, ob die Form eines Bruches allein eindeutige Schlüsse auf den Entstehungsmechanismus zuläßt.

Seit den grundlegenden Untersuchungen von MESSERER (1880) wissen wir, daß bei seitlichem Druck auf den Schaft eines Röhrenknochens dieser zunächst in Richtung der angreifenden Gewalt ausgebogen wird und dann durchbricht, wobei ein Knochenkeil, dessen Basis der Druckrichtung zugewandt ist, aussprengt wird. Dieser Vorgang kann auch unvollständig ablaufen, so daß nur eine Seite des Keiles eine durchgehende Bruchfläche zeigt, während die zweite nur als Fissur angedeutet ist. Es liegt hier der typische „Biegungsbruch“, wie er von MESSERER selbst benannt wurde, vor. Diese Bezeichnung wird leider häufig falsch angewandt, indem jeder Knochenbruch mit Aussprengung eines Keiles als „Biegungsbruch“ bezeichnet wird. Andererseits findet man die Meinung, daß bei Biegung des Knochens ausschließlich Brüche in Keilform entstehen können. IPSEN hat bereits 1906 auf die bei Biegeversuchen von Stäben festgestellten Quer- und treppenförmigen Brüche aufmerksam gemacht und vermutet, daß bei Biegung in allen Materialien Bruchkeile auftreten; diese erhalten jedoch nach ihm bei geringer Zugfestigkeit an der konvex ausgebogenen Seite und bei geringer Elastizität des Materials zunehmend spitzere Neigungswinkel, bis die Seitenflächen — im Sonderfall des Querbruches — zusammenfallen. Es wird bereits hier deutlich, daß auch andere Bruchformen als ausschließlich der Keilbruch durch denselben Vorgang entstehen können.

Bei der praktischen Anwendung dieser Erkenntnisse wird vielfach übersehen, daß sie aus den Ergebnissen statischer Bruchversuche gewonnen wurden und daher auch nur für diese völlig gültig sind. In der Praxis hat man hingegen fast ausschließlich mit Knochenbrüchen zu tun, die durch einmalige, kurz dauernde und heftige Einwirkung zustande kommen.

Das dynamische Moment spielt in der Beurteilung der Querbrüche durch MATTI (1933) eine wesentliche Rolle. Er führt an, daß bei geringer Auftreffgeschwindigkeit der brechenden Gewalt Biegungsfrakturen auftreten, hingegen bei hoher Geschwindigkeit eine Gesamtverformung des Knochens nicht mehr möglich sei und die Zusammenhangstrennung daher in Form eines Querbruches erfolge. HAASE sowie HAASE und RICHTER konnten nun weiters durch Untersuchungen nach technisch-physikalischen Gesichtspunkten die den Bruchvorgängen zugrunde liegenden Voraussetzungen klären. Wesentlich für die entstehende Bruchform ist vor allem das Verhalten des Materials gegenüber der einwirkenden Kraft. Ist dies ein „plastisches“, geht die Verformung nach Aussetzen der einwirkenden Kraft (im Gegensatz zur „Elastizität“) nicht zurück; es kommt zur bleibenden Ver-

formung oder zum Bruch. Tritt ein Bruch ohne vorherige Gestaltsänderung ein, ist das Material „spröde“ oder zeigt — besser gesagt — eine solche Reaktionsweise (SEIDL). Der entscheidende Unterschied beider Verhaltensweisen liegt darin, daß bei plastischem Material die durch den äußeren Kraftangriff induzierten inneren Kräfte, „die Spannungen“, immer in einem Neigungswinkel von 45° zur einwirkenden Kraft liegen, während im spröden Werkstoff die Spannungen normal zu den äußeren Kräften, also im Winkel von 90° zu ihnen auftreten. Die Folge ist, daß nur bei plastischem Verhalten Keilbrüche auftreten können, während Querbrüche bei spröder Reaktion entstehen. HAASE hat gezeigt, daß bei Biegung, Knickung, Stauchung, Zerreißen und Drehung die auftretenden Brüche immer die gleichen Neigungswinkel der inneren Spannungen zeigen. So erklärt sich auch das Auftreten von Spiralbrüchen bei Druck in der Längsrichtung des Knochens. Es ist also eine solche Bruchform nicht immer die Folge einer Verdrehung, als die sie häufig angesehen wird. Auch ist ein Querbruch nicht immer eine „Schubfraktur“ (MATTI), sondern kann auch durch Zug in der Längsachse entstanden sein. Besonderes Interesse beanspruchen die Ergebnisse von EVANS, PEDERSEN und LISSNER, die bei der experimentellen Längsstauchung von Leichenfemora Stüchbrüche mit schrägen, keilähnlichen Bruchflächen erhielten. Dies wurde außerdem auch noch von HIRSCH, CAVADIAS und NACHEMSON beobachtet. Übrigens hat bereits MESSERER (1885) auf die Möglichkeit eines solchen Entstehungsmechanismus von Keilbrüchen hingewiesen.

Für die Bruchvoraussetzungen am Schienbein kommt nun den Erkenntnissen von PAUWELS eine erhebliche Bedeutung zu. Er fand, daß „die Tibia im Groben einen Körper gleicher Festigkeit darstellt“, wobei diese in den oberen Anteilen am höchsten ist. Dieses Ergebnis erhielten auch KNESE, HAHNE und BIERMANN, die ausgedehnte Festigkeitsuntersuchungen der Röhrenknochen nach anatomischen und technologischen Gesichtspunkten durchführten. Es wurden dabei die Trägheits- und Widerstandsmomente verschiedener Querschnittshöhen auf Grund von Biegeversuchen und unter Einbeziehung der Ergebnisse von MESSERER und RAUBER errechnet. Diese Feststellungen erklären vielleicht das seltene Vorkommen von Quer- und Schrägbrüchen durch direkte Gewalteinwirkung in diesem Bereich.

Sie gelten jedoch ebenfalls für statische Belastung und dürfen nicht ohne weiteres auf die Vorgänge bei einmaliger, kurzdauernder Kraftwirkung übertragen werden. Die Geschwindigkeit, mit der ein Knochen getroffen wird, spielt eine bedeutende Rolle, indem sie seine Verhaltens- bzw. Reaktionsweise zu verändern vermag. Wie bereits angeführt, zeigt ein mit hoher Geschwindigkeit getroffener Knochen spröde Eigenschaften (HAASE und RICHTER). Diese Feststellung, bereits 1929 von RÖSSLE getroffen, wurde neuerlich von KNESE u. Mitarb. bestätigt. RÖSSLE sah, daß bei Schlag-Biegeversuchen an Oberschenkelstücken der Knochen unregelmäßig zersprang. Bei Vergleichen mit technischen Materialien (Gußeisen, Holz) ergab sich ein unterschiedliches Verhalten, das nach ihm auf den „Werkstoff Knochen“ zu beziehen ist. Die besonderen Eigenschaften des Knochens, der von einem Kraftstoß getroffen wird, sind sicherlich durch seine Mikro- und Makrostruktur bedingt. Lamellärer Knochen zeigt einen Feinbau, in dem die kollagenen Fibrillen der Osteone in sich kreuzenden Schraubentouren verlaufen, wodurch eine hohe Zugfestigkeit erreicht wird (BENNINGHOFF). Ihre dichte Verbindung mit mineralischen Anteilen (Apatit) bedingt eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Druckwirkungen. Die geringe Länge des einzelnen Osteons, die nach KOLTZE maximal 7 mm erreicht und ihre zahlreichen, in sehr geringen Abständen liegenden Querverbindungen schaffen eine „Verbundstruktur“, wie sie SCHARF bezeichnet und mit jener des vorgespannten Eisenbetons verglichen hat. Für die Festigkeit

ist nun nicht allein der Feinbau maßgebend, sondern die Konstruktion des Knochenkörpers in ihrer Gesamtheit (BENNINGHOFF, KÜNTSCHER, PAUWELS, KNESE u. Mitarb.). „Die so verschiedenen Formelemente sind derart aufeinander abgestimmt, daß der ganze Knochen auf Beanspruchung reagiert, als ob er aus einer ganz gleichförmigen Masse bestände“ (KÜNTSCHER). Dies gilt bis zum Augenblick der ersten Verformung durch eine Gewalteinwirkung. Von diesem Zeitpunkt ab muß jedoch mit einer grundsätzlichen Änderung der Verhaltensweise gerechnet werden, weil selbst allein eine Eindellung der Oberfläche, noch bevor ein Bruch entsteht, zu einer Änderung in der Verteilung der Spannungen und damit der Widerstandsfähigkeit führt (KÜNTSCHER). Wirkt nun der Kraftstoß weiter fort, greift er an dem in seinen Eigenschaften nunmehr veränderten Knochen an, der dementsprechend ebenfalls in geänderter Weise reagieren wird. Diese während der Gesamtdauer der Krafteinwirkung nicht abreißende Kette von Gestalts- und Festigkeitsänderungen ist in ihren Einzelgliedern zeitlich und örtlich nicht faßbar. Es muß jedoch angenommen werden, daß die Größenordnung und Richtung der wirkenden Kräfte, sowie die räumliche Anordnung und Festigkeit der einzelnen Formationen des Knochengewebes von Fall zu Fall sehr verschieden ist.

Aus diesen Gründen ist es sehr fraglich, ob unter bestimmten dynamischen Belastungen überhaupt charakteristische Bruchformen entstehen. Wir haben deshalb unsere eigenen Obduktionsfälle unter diesem Gesichtspunkt überprüft und versucht festzustellen, ob zwischen der gefundenen Frakturform, der zur Zeit des Anpralls gefahrenen Geschwindigkeit und dem Alter und Geschlecht Beziehungen bestehen.

Als Unterlagen wurden verwendet: die Obduktionsprotokolle des Institutes, sowie die Verhandlungsprotokolle der Gerichte, aus denen die von den Kraftfahrzeug-Sachverständigen angegebenen Geschwindigkeitswerte entnommen wurden. (Diese schwanken selbstverständlich innerhalb gewisser Grenzen.)

Die nachstehende Tabelle zeigt die Ergebnisse:

Tabelle 1

Zahl der Fälle	Bruchform	Geschwindigkeit beim Anprall in km/h	Alter Jahre	Geschlecht
11 (5 offene)	Querbrüche des Unterschenkels	35—70	21—80	9 ♂ 2 ♀
5	Frakturen mit Keilbildung	50—80	27—74	5 ♂
25	Schräg- und Trümmerbrüche	30—90	9—80	21 ♂ 5 ♀

Von den Brüchen waren 25 links, 7 rechts, 9 beidseitig.

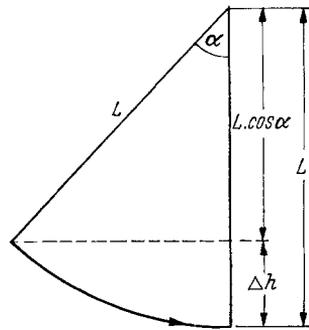
Es geht daraus hervor, daß eine Korrelation zwischen Frakturform, Anprallgeschwindigkeit, Alter und Geschlecht nicht erkennbar ist. Diese Feststellung ist jedoch ausschließlich für das uns zur Verfügung stehende kleine Material gültig. Möglicherweise ließen sich auf statistischem Wege an Hand umfangreicher Unterlagen nähere Einblicke erzielen. Es muß dies zunächst dahingestellt bleiben. Da weder aus den Angaben in der

Literatur noch aus den eigenen Beobachtungen sichere Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden können, haben wir versucht, auf experimentellem Wege einer Klärung dieser praktisch wichtigen Frage näherzukommen.

III. Experimentelle Untersuchungen

a) Methodik und Material. Um eine möglichst weitgehende Anpassung der Versuche an die bei Straßenverkehrsunfällen herrschenden Bedingungen zu erreichen, muß der Knochen durch einen einzigen Stoß gebrochen werden. Da uns eine geeignete Maschine, wie sie zu technologischen Untersuchungen verwendet wird, nicht zu Verfügung stand, mußten wir uns mit einem einfach gebauten Pendelschlagapparat begnügen.

An einer horizontalen Achse wurde ein 2 cm dickes und 12 cm breites Brett leicht drehbar befestigt und an seinem unteren Ende ein Behälter zur Aufnahme verschiedener Gewichte angebracht. Wenn nun dieser Hebel angehoben und dann fallen gelassen wird, trifft er mit einer genau bestimmbar Geschwindigkeit auf den zu brechenden Knochen. Dieser wurde unter dem Drehpunkt des Hebels in der Senkrechten aufgestellt und durch eine Vorrichtung, die ein Umfallen oder Abweichen in der Schlagrichtung verhinderte, lose eingespannt. Eine Schrägstellung der bei den Versuchen verwendeten Knochen hielten wir nicht für erforderlich, da KÜNTSCHER bewies, daß der Verlauf der Spannungslinien unabhängig vom Neigungswinkel des Knochens zur einwirkenden Gewalt bleibt. Durch die gewählte Befestigungsart konnte eine eventuell auftretende Drehung des Knochens während des Schlages nicht verhindert werden. Da aber auch beim Verkehrsunfall eine Bewegungskombination aus horizontal gerichteten und Drehkräften auftritt, ist dies kein Hindernis. An der dem Knochen zugekehrten Seite des Gewichtskastens, an dessen „frontaler“, senkrecht stehender Fläche, wurde nun ein Stück einer Stoßstange befestigt. Da alle gängigen Ausführungen nach vorne konvex gewölbte Profile zeigen, genügt die Verwendung eines einzigen Stoßstangentheiles. Beim Versuch traf sein vorderster Punkt genau lotrecht unter dem Drehpunkt des Hebels auf den Knochen.



Durch diese Anordnung kann, bei bekanntem Ausschlagwinkel des Hebels und seiner Länge, die Auftreffgeschwindigkeit und daraus unter Einbeziehung des gewählten Gewichtes, der dem Knochen erteilte Impuls und die Wucht (kinetische Energie) einfach bestimmt werden.

Bezeichnet man die Länge des Schlagarmes (vom Dreh- bis zum Schwerpunkt) mit L und den Höhenunterschied, den sein Schwerpunkt von der Auslenkung bis zum Auftreffen durchläuft, mit Δh , beträgt die Auftreffgeschwindigkeit $v = \sqrt{2g \cdot \Delta h}$, entsprechend den für den freien Fall gültigen Bedingungen. Die Größe Δh ergibt sich als Differenz $L - L \cdot \cos \alpha$ oder anders ausgedrückt $L(1 - \cos \alpha)$. Die Auftreffwucht wird zweckmäßig in $\text{kg} \cdot \text{m}$ angegeben. Aus räumlichen Gründen und der Überlegung, daß ein zu langer Hebelarm durch seine eigene Masse und Elastizität zu schwer kontrollierbaren Ergebnissen führen könnte, wurde seine Länge (L) mit 230 cm festgelegt. Damit ist allerdings die höchst erreichbare

Auftreffgeschwindigkeit mit 610 cm/sec oder 21,9 km/h begrenzt, da nur eine maximale Auslenkung von 80° möglich ist. Sie liegt also unter jener Geschwindigkeitsgrenze, von der an bei Verkehrsunfällen Frakturen erfahrungsgemäß auftreten. Die Gewichtsbelastung wurde den zu brechenden Knochen entsprechend hoch gewählt.

Große Schwierigkeiten bereitete die Beschaffung geeigneten, frischen Knochenmaterials. Für die Vorversuche wurden zufällig erhältliche Knochen von Wild und eines Hundes verwendet. Weitere Versuche wurden an menschlichen Schienbeinen durchgeführt. Sie stammen von Personen verschiedenen Alters und Geschlechtes, die eines plötzlichen, natürlichen oder gewaltsamen Todes starben. Die Bruchversuche wurden spätestens 24 Std nach der Knochenentnahme vorgenommen. Es wurde streng beachtet, daß die Schienbeine noch von Muskelresten, zumindest aber von Periost bedeckt waren.

In einer weiteren Versuchsreihe wurden Schienbeine mit dem distalen Ende locker in die Vertiefung eines, in einen Halbschuh mit Gummisohle eingefügten Holzklotzes eingestellt. Der Tibiakopf wurde dabei mit einem zentral vertieften Brettchen, das an seiner Oberseite mit Filz überzogen ist, abgedeckt. Von oben wirkte senkrecht eine dauernde Druckbelastung von 42 kg ein, die vor und während des Versuches das Schienbein in den Schuh und diesen gegen den Asphaltfußboden preßte. Die Hinterfläche der Tibia erhielt eine Verkleidung durch einen Sack aus derbem Stoff mit Gummifüllung, der als „künstliche Wade“ wirkte.

In einer weiteren Serie wurde das Verhalten ganzer Unterschenkel gegenüber einer Stoßwirkung geprüft, vor allem aber diente sie der Feststellung, ob bei erhaltener Haut und Muskulatur bei den von uns erreichbaren Geschwindigkeiten überhaupt Frakturen auftreten.

Die den Versuchen zugrunde liegende Fragestellung bezog sich auf folgende Punkte:

1. Treten die Frakturen immer an der Stelle des Kraftangriffes, oder entfernt von dieser auf?
2. Zeigen sie charakteristische Formen?
3. Sind diese abhängig von der Auftreffgeschwindigkeit oder von der Richtung, aus der die Tibia getroffen wurde (ventral, dorsal)?
4. Erfolgt im Versuch eine Durchbiegung des Knochens, bevor er bricht, oder tritt die Fraktur ohne vorhergehende Verformung ein?

Die Fragen 1—3 können auf Grund der erhaltenen Befunde — die Knochen wurden nach dem Versuch maceriert — direkt beantwortet werden. Hingegen war es notwendig, zur Entscheidung der Frage 4 besondere Registriermöglichkeiten zu finden. Da eine direkte Messung einer möglichen Ausbiegung, wie dies bei Versuchen durch steigenden Druck erfolgte, im Schlagversuch nicht möglich ist, wurden zunächst Filmaufnahmen versucht. Es zeigte sich, daß mit der zur Verfügung stehenden Kamera mit einer höchsten Bildfolge von 64 Aufnahmen pro Sekunde keine brauchbaren Ergebnisse zu erzielen waren. Auch photographische Aufnahmen im Flackerlicht befriedigten wegen der

auftretenden Überlagerung der einzelnen Phasen nicht. Es war daher erforderlich, eine Einrichtung zur Kurzzeitphotographie zu bauen¹.

Sie wurde unter Benutzung vorhandener Geräte konstruiert. Es sind damit zwangsläufig einzelne Nachteile verbunden.

In einem lichtdichten Gehäuse rotiert, angetrieben durch einen Gleichstrommotor, eine Scheibe, auf deren äußeren Umfang ein Kleinbildfilm aufgezogen wird. Dieser zieht nun kontinuierlich hinter einem Bildfenster, dem ein Projektionsobjektiv Leitz Hector 1:2,5/100 mm vorgesetzt ist, vorbei. Da ein mechanischer Verschuß für die erforderlichen außerordentlich kurzen Belichtungszeiten und die zeitlich sehr dichte Bildfolge viel zu träge wäre, wird die Unterbrechung zwischen

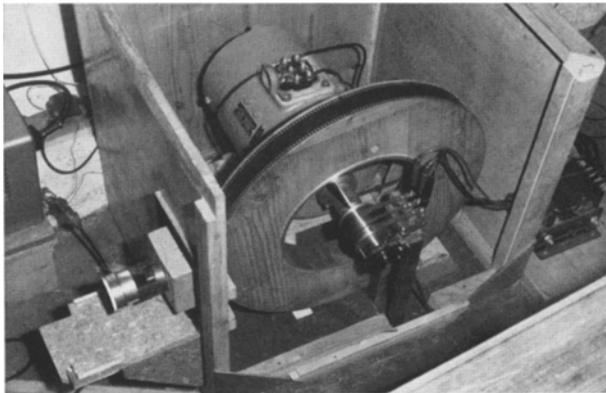


Abb. 3. Kamera geöffnet. Scheibe mit aufgezogenem Film. Links das Objektiv

den einzelnen Bildern durch die Art der Beleuchtung bewirkt. Diese erfolgt durch eine, für stroboskopische Zwecke verwendete Leuchte, die in einer Sekunde bis zu 240 Einzelblitze abgibt, die in gleichbleibenden Zeitabständen und mit gleicher Intensität aufleuchten. Dabei beträgt die Leuchtdauer des einzelnen Blitzes höchstens 10^{-5} sec. Die Konstruktion der Blitzlichtlampe bedingt eine nur schwache Beleuchtungsstärke des ohnehin kleinflächigen Objektes (eines menschlichen Schienbeins). Es wurde daher der zu brechende Knochen, um eine bessere Reflexion zu erzielen und die Dichte der Negative zu steigern, unmittelbar vor dem Bruchversuch mit einer dünnen Zinkpasteschicht überzogen. Aus diesem Grunde wurde auch der empfindlichste Film, Agfa Isopan Record $32/10$ DIN verwendet, der noch durch entsprechende Entwicklung extrem ausgenutzt wurde.

Der Umfang der rotierenden Scheibe entspricht mit 160 cm der Länge eines Kleinbildfilmes für 36 Aufnahmen. Wenn nun diese voll genutzt werden soll, müssen während einer Umdrehung der Scheibe 36 Blitze erfolgen. Daraus ergibt sich ein konstantes Verhältnis zwischen der Drehzahl und der Blitzfrequenz. Da der Zeitraum, in dem die Bruchvorgänge ablaufen, nicht bekannt war, mußte die Drehzahl und die Blitzfrequenz variabel gehalten werden. Dies wird erreicht durch einen dem Motor vorgeschalteten Regeltransformator. Mit der Motorwelle gekop-

¹Dies wäre nicht möglich gewesen ohne die freundliche Hilfe von Herrn Univ.-Prof. Dr. J. KOLB, Vorstand der 2. Lehrkanzel für Experimentalphysik der Universität Innsbruck, dem ich an dieser Stelle herzlich für Rat und Tat danken darf.

pelt läuft ein Tachometer, das eine laufende Kontrolle gestattet. Die Blitzfrequenz kann stufenlos zwischen 15 und 240 pro Sekunde gewählt werden.

Die Einschaltung der Blitzentladungen, die knapp vor dem Auftreffen des Profils am Knochen einsetzen muß, erfolgt durch ein Relais, dessen Schaltarm durch den vorbeistreichenden Schlagarm umgelegt wird. Die Ausschaltung, die genau nach einer vollen Umdrehung der Scheibe erfolgen muß, um Doppelbelichtungen zu

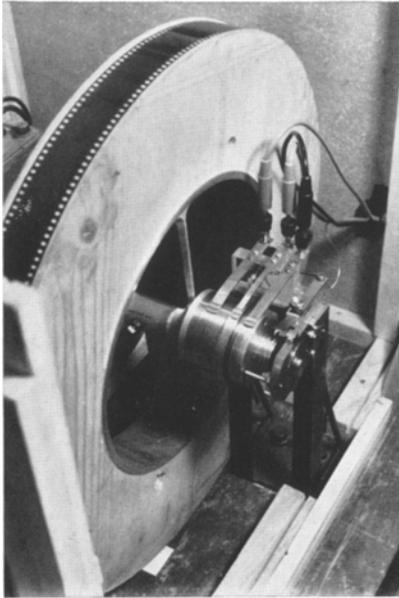


Abb. 4



Abb. 5

Abb. 4. Detailaufnahme der Ausschaltvorrichtung. Ganz rechts auf der Welle die gleitende Scheibe mit dem Gewinde, auf dem der Kontakthebel schleift. Links davon der in Topfgestalt gefertigte Elektromagnet

Abb. 5. Gesamte Versuchsanordnung. Rechts der Schlagarm mit Gewichtsbehälter und Stoßstangenteil. Links die Haltevorrichtung mit aufgestelltem Schienbein. Dahinter und darunter die Blitzleuchte und der zugehörige Generator. Rückwärts die Kamera. Im Hintergrund Regeltransformator und Anzeigegerät des Tachometers. Das Einschaltrelais läge über dem oberen Bildrand, montiert auf einem schrägen Brett, dessen Unterkante in der linken oberen Bildecke sichtbar ist

vermeiden, geschieht durch eine elektromechanische Einrichtung. Sie besteht aus einem auf die Motorwelle montierten Elektromagneten, der im Augenblick der Blitzeinschaltung eine auf derselben Welle gleitende Stahlscheibe an sich reißt. Mit dieser ist axial ein Gewinde, das genau eine Windung von 360° besitzt, starr verbunden. In dessen Schraubengang läuft ein Kontakthebel, der nach einer vollen Umdrehung vom stromleitenden Teil auf eine Isoliermasse übertritt.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Anordnung der Apparatur.

Um eine sicher konstante Umdrehungszahl der Scheibe zu erhalten, muß diese einige Zeit vor der Aufnahme in Gang gesetzt werden. Es wird sodann der Schlagarm angehoben, sein Ausschlagwinkel abgelesen und anschließend im völlig abgedunkelten Raum der Bruchversuch und die Aufnahme vorgenommen.

b) Versuche an tierischen Knochen. Als Versuchsobjekt besitzen Säugetierknochen den Vorteil, daß sie bei gleichem Feinbau wie der menschliche Knochen

verschiedene Profile des Querschnittes zeigen. So weist der Vorderarm des Rehs einen doppelt U-förmigen, sein Schienbein einen dreieckigen und die Fußwurzel einen einfach U-förmigen Querschnitt auf. Beim Hundeoberschenkel zeigt dieser kreisförmige Gestalt. Es besteht somit die Möglichkeit festzustellen, ob die Form des Knochenquerschnittes für das Auftreten besonderer Frakturformen eine Bedeutung besitzt.

Der Schlag erfolgte in dieser Reihe ausschließlich in ventrodorsaler Richtung.

In den 18 durchgeführten Bruchversuchen ergaben sich sehr unterschiedliche Frakturformen. Es traten neben Quer- und Trümmerbrüchen auch Keilbrüche auf, die sowohl mit der Basis als auch mit der Spitze zum Angriffspunkt der Gewalt zeigten. Sämtliche Brüche liegen in Höhe des Angriffspunktes.

Vergleichbar sind nur die Befunde an jeweils symmetrischen Knochen. Hier fällt nun auf, daß unter gleichen mechanischen Bedingungen sowohl gleichartige, als auch völlig verschiedene Bruchformen auftreten können, während andererseits unter verschiedenen Bedingungen gleichartige Bruchformen auftraten. Diese Erscheinung zeigte sich unabhängig vom Profil des Knochenquerschnittes. Es ist daher anzunehmen, daß die Gestalt des Querschnittes keinen Einfluß auf die Form des entstehenden Bruches ausübt.

Weiters zeigte sich, daß eine höhere Auftreffgeschwindigkeit oder Wucht nicht immer zum Querbruch führt. Auch bei den Keilbrüchen ist eine Abhängigkeit von der Größe dieser Faktoren nicht nachweisbar. Der Bruch in Versuch Nr. 7 (Spitze zum Angriffspunkt) entstand bei der niedrigsten Auftreffgeschwindigkeit und Wucht der gesamten Versuchsreihe. Trümmerbrüche traten nur bei hohen Werten der kinetischen Energie auf (Versuch Nr. 2 und 5). Am zugehörigen paarigen Knochen entstanden hingegen Keilbrüche bei etwa einem Drittel des zum Trümmerbruch führenden Energiewertes. Die folgende Tabelle und die Abb. 6 zeigen die Ergebnisse.

Tabelle 2

Versuch Nr.	Knochen	Auftreffgeschwindigkeit [cm/sec]	Kinetische Energie [kg · m]	Bruchform
1	Reh, Vorderarm	324	3,5	Keilbruch, Basis ventral
2	Reh, Vorderarm	610	13	Trümmerbruch
3	Reh, Fußwurzel	245	2,1	Querbruch
4	Reh, Fußwurzel	324	3,5	Keilbruch, Spitze ventral
5	Reh, Tibia	401	4	Trümmerbruch
6	Reh, Tibia	245	1,5	Keilbruch, Basis ventral
7	Reh, Femur	154	0,9	Keilbruch, Spitze ventral
8	Reh, Femur	154	0,9	Schrägbruch
9	Reh, Oberarm	205	1,4	Querbruch mit Längsfissur
10	Reh, Oberarm	154	0,9	Querbruch
11	Reh, Unterarm	154	0,9	Unregelmäßiger Querbruch
12	Reh, Unterarm	154	0,9	Keilbruch, Basis ventral
13	Hund, Femur	245	2,1	Unregelmäßiger Bruch
14	Hund, Femur	245	2,1	Keilbruch, Spitze ventral
15	Hund, Unterschenkel	245	2,1	Querbruch
16	Hund, Unterschenkel	245	2,1	Querbruch
17	Hund, Oberarm	245	2,1	Keilähnlicher Bruch, Spitze ventral
18	Hund, Oberarm	245	2,1	Querbruch

c) Versuche an menschlichen Knochen. 1. In dieser Versuchsreihe wurden menschliche Schienbeine durch einen Schlag aus ventraler oder dorsaler Richtung gebrochen. Um einen ungefähren Richtwert für die Größe der zum Bruch erforderlichen Energie zu erhalten, wurde in den Versuchen 1 und 2 eine große Auslenkung des Schlagarmes bei geringer Gewichtsbelastung gewählt. In den folgenden Versuchen wurde das Fallgewicht erhöht, der Ausschlagwinkel vermindert. Es war dies notwendig, um eine Zerstörung des Schlagwerkzeuges zu vermeiden.

Wie zu erwarten war, traten auch an menschlichen Schienbeinen die Frakturen immer an der Anprallstelle auf. Im Gegensatz zum Tierknochen zeigte sich jedoch,

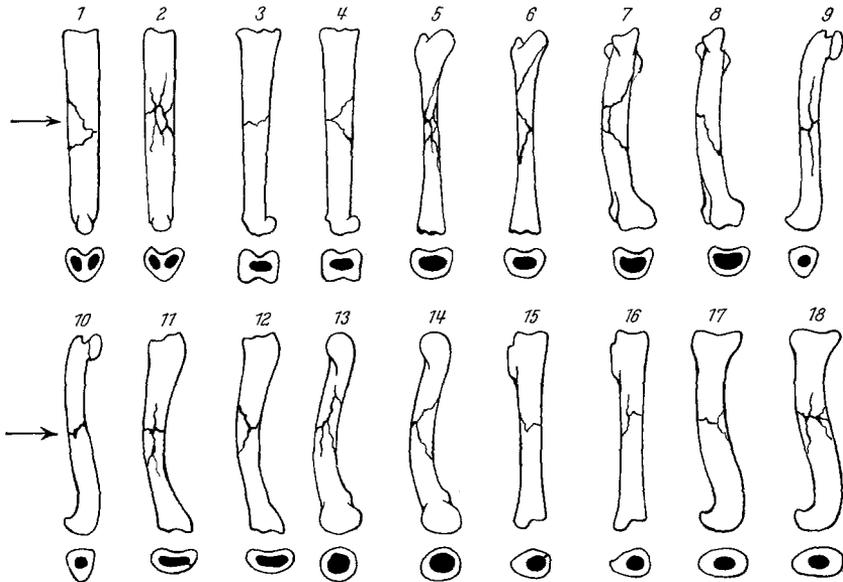


Abb. 6. Frakturversuche an tierischen Knochen. Die Zahlen entsprechen den in Tabelle 2 angegebenen Versuchsnummern. Der Pfeil zeigt die Richtung der Gewalteinwirkung. In den unteren Reihen sind die Querschnitte der darüberstehenden Knochen eingezeichnet

daß die Frakturlinien nicht den unregelmäßigen Verlauf wie bei jenen zeigen, sondern in allen Fällen mehr oder minder geordnet verlaufen. Sehr häufig kam es dabei zur Aussprengung keilförmiger Stücke, oder, wenn dies nicht der Fall war, zum Auftreten von Fissuren, die vom Auftreffpunkt nach oben und unten ausstrahlten und damit „unvollständige“ Bruchkeile darstellen. Sehr wesentlich aber ist, daß die Basen der Keile keineswegs immer am Angriffspunkt der einwirkenden Gewalt liegen, sondern daß ebenso häufig ihre Spitze diesem zugekehrt ist.

Aus der folgenden Tabelle 3 sind die Daten dieser Versuchsreihe ersichtlich.

In den Ergebnissen dieser Versuchsreihe fällt auf, daß am jeweils kontralateralen Schienbein einer Person unter gleichen Bedingungen entweder verschiedene Bruchformen (Abb. 7, Versuch Nr. 5 und 6; Abb. 8, Versuch Nr. 11 und 12) oder Keilbrüche mit verschiedener Lage der Basis in bezug auf den Angriffspunkt entstanden (Abb. 9, Versuch

Tabelle 3

Ver- such Nr.	Alter Jahre	Ge- schlecht	Prot.- Nr.	Schlag- richtung	Auf- treffge- schwin- digkeit cm/sec	Kine- tische Ene- gie kg · m	Bruchform
1	85	♀	139/61	ventro- dorsal	610	12,9	Keilbruch, Basis ventral
2	85	♀	139/61	dorso- ventral	610	12,9	Keilbruch, Basis ventral
3	28	♀	312/61	ventro- dorsal	324	5,3	Querbruch mit „Keil- fissur“, Basis ventral
4	28	♀	312/61	dorso- ventral	363	6,7	Keilbruch, Basis dorsal
5	55	♂	316/61	ventro- dorsal	363	6,7	Querbruch mit „Keil- fissur“, Basis ventral
6	55	♂	316/61	dorso- ventral	363	6,7	Keilbruch, Basis ventral
7	38	♀	221/61	ventro- dorsal	324	5,3	Keilbruch, Basis ventral
8	38	♀	221/61	dorso- ventral	324	5,3	Keilbruch, Basis ventral
9	73	♂	329/61	ventro- dorsal	363	8,2	Keilbruch, Basis ventral
11	73	♂	329/61	ventro- dorsal	401	8,2	Trümmerbruch, ange- deutete Keilform, Basis dorsal
12	16	♀	334/61	ventro- dorsal	401	8,2	doppelter Querbruch
13	48	♂	393/61	ventro- dorsal	401	8,2	doppelter Querbruch mit Längsfissuren
14	48	♂	393/61	ventro- dorsal	401	8,2	Trümmerbruch, ange- deutete Keilform, Basis lateral

Nr. 7 und 8). Von Bedeutung ist ferner, daß in dieser Reihe auch Querbrüche auftraten, wobei in diesen Fällen (Abb. 10, Versuch Nr. 3 und 5) nur verhältnismäßig geringe Energiemengen wirksam waren. Bei derselben Belastung kam es in den Versuchen Nr. 11 und 14 zu Trümmerbrüchen.

Aus diesen Befunden ist zu entnehmen, daß die Entstehung eines Keilbruches, dessen Basis gegenüber dem Angriffspunkt liegt, nicht durch eine hohe Geschwindigkeit der einwirkenden Gewalt bedingt ist. Desgleichen ist erwiesen, daß auch Quer- und Trümmerbrüche bereits bei verhältnismäßig niedrigen Werten der kinetischen Energie auftreten können. Dennoch scheint den Ergebnissen dieser Versuchsreihe eine gewisse Gesetzmäßigkeit innezuwohnen. Wenn der Schlag den Knochen von ventral her traf, kam es nie zur Bildung von Bruchkeilen, deren Basis dorsal lag, wohl aber traten beim Schlag aus dorsaler Richtung Keilbrüche mit ventral liegender Basis neben „klassischen“ Bruchkeilen auf. Ferner sahen wir beim Schlag von dorsal her niemals eine

einzelne Bruchlinie den Knochen bis zur Tibiakante hin durchsetzen. In solchen Fällen entstanden immer mindestens zwei Sprünge, die z.T. bis zur Tibiakante reichten. Umgekehrt kam es bei Einwirkung auf die

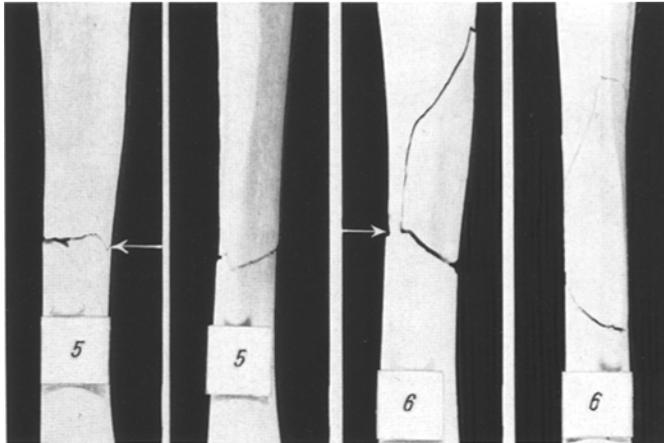


Abb. 7

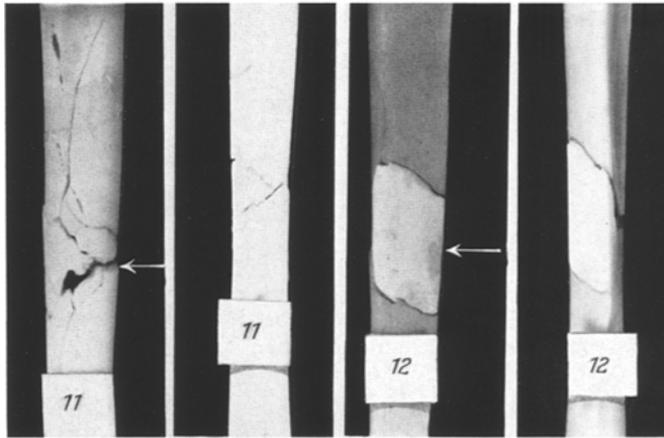


Abb. 8

Abb. 7—10. Ergebnisse der Bruchversuche an menschlichen Schienbeinen. Links ist jeweils die Tibia in der Seitenansicht dargestellt. Der Pfeil zeigt die Schlagrichtung. Rechts Dorsal- bzw. Ventralansicht desselben Schienbeins. Die Ziffern entsprechen den in Tabelle 3 angegebenen Versuchsnummern

Tibiakante mehrfach zur Entwicklung einzelner, die gesamte Knochenbreite durchsetzender Bruchlinien.

Dieses Verhalten ist wohl am ehesten auf die Mächtigkeit der Compacta im Bereich der Tibiakante zurückzuführen. Sie bedingt eine

größere Widerstandsfähigkeit gegenüber einem von rückwärts nach vorne sich entwickelnden Bruch, bei dem sich der größte Teil der Wucht bereits erschöpft hat, bis die Tibiakante erreicht ist. Trifft die volle

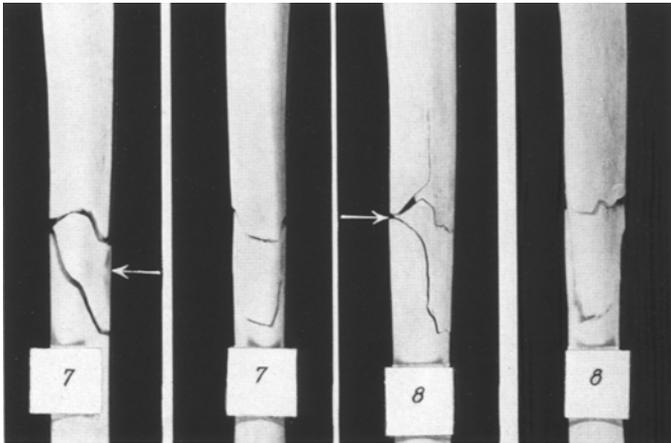


Abb. 9

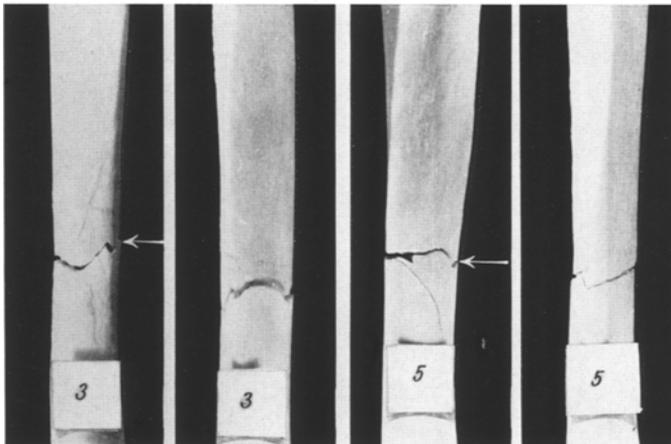


Abb. 10

Wucht die Tibiakante selbst, genügt dies, um sie an einer oder mehreren Stellen zu durchbrechen.

2. In einer weiteren Reihe wurden Bruchversuche an „bekleideten“ Schienbeinen durchgeführt. Dabei wurde die mit einer „künstlichen Wade“ versehene Tibia durch senkrecht wirkenden Druck in einen Halbschuh mit Gummisohle und dieser dadurch gegen den Boden gepreßt.

Es kam dabei bei 6 Versuchen fünfmal zum Wegschleudern des unversehrt gebliebenen Knochens. Nur einmal, beim Schlag von rückwärts, entstand ein von rückwärts nach oben vorne unten verlaufender Schrägbruch, dessen Beginn in Höhe des Angriffspunktes der Gewalt lag. Er entstand bei einer Auftreffgeschwindigkeit von 610 cm/sec. Bei geringeren Auftreffgeschwindigkeiten und gleichem Schlaggewicht glitt der Schuh, bzw. die obere Halteplatte des Knochens in allen Fällen ab, so daß dieser weggeschleudert wurde.

Es ist daraus zu schließen, daß unter einer bestimmten Geschwindigkeitsgrenze, die von WÖLKART mit etwa 30 km/h angegeben wird, keine Frakturen auftreten. Die Erklärung liegt in dem Umstand, daß der Knochen bei geringen Geschwindigkeiten der einwirkenden Gewalt einerseits noch elastisch zu reagieren vermag, andererseits das dabei auftretende, geringe Trägheitsmoment und die Reibung der Schuhsohle durch den vordringenden Schlagkörper leicht überwunden werden können. In diesen Geschwindigkeitsbereichen — wir erzielten mit unserem Apparat eine höchste Geschwindigkeit von 21,9 km/h — liegt sehr wahrscheinlich der Übergangsbereich, in dem der Knochen einerseits reagieren kann, als ob er einer Druckbelastung unterworfen würde, andererseits aber bereits ein Verhalten zeigen kann, wie dies gegenüber einem Kraftstoß zu erwarten ist.

Diese Vermutung muß jedoch noch überprüft werden. Es ist uns dies zur Zeit, durch das Fehlen einer geeigneten Apparatur, mit der entsprechend hohe Auftreffgeschwindigkeiten erzeugt werden können, nicht möglich. Es sind jedoch entsprechende Versuche geplant.

3. Obwohl bereits aus den Ergebnissen der vorangehenden Versuchsreihe zu vermuten war, daß ganze Unterschenkel mit unserer Apparatur nicht gebrochen werden können, wurde dies dennoch überprüft. Die Unterschenkel-Amputationspräparate¹ wurden mit einem Halbschuh bekleidet und in gleicher Weise wie in Serie 1 eingespannt.

Beim Schlag mit 610 cm/sec Geschwindigkeit und einer Gewichtsbelastung von 10 kg wurde der Schlagkörper weich abgefangen und es entstand in keinem der 4 Versuche eine Knochenverletzung.

4. Versuche zur photographischen Frakturanalyse. Die Schienbeine wurden in gleicher Weise wie in der Serie 1 aufgestellt. Sie erhielten unmittelbar vor dem Versuch einen dünnen Überzug mit Zinkpaste, um die Lichtreflexion zu steigern. Die Beleuchtung erfolgte schräg von unten in einem Winkel von rund 45° zum Schienbein. Dies war notwendig, um einen möglichst großen Bereich darstellen zu können, da die Konstruktion der Leuchte eine unregelmäßige und breite Streuung des Lichtes bedingt. Aus diesem Grunde sind die in den Abbildungen dargestellten Versuchsobjekte ungleichmäßig ausgeleuchtet. Die dem Objektiv zugekehrte Kante des Stoßtangenteiles erhielt ebenfalls einen Zinkpasteranstrich. Dieser blieb in einzelnen Versuchen während der Aufnahmedauer erhalten, in anderen wurde er jedoch durch den Anprall abgeschleudert, so daß er in den späteren Aufnahmephasen nicht mehr erkennbar ist.

¹ Für die freundliche Überlassung der Präparate sei dem Vorstand des Pathologisch-anatomischen Institutes der Universität Innsbruck, Herrn Prof. Dr. F. J. LANG, herzlich gedankt.

Die Bruchversuche wurden bei einer Auftreffgeschwindigkeit von 460 cm/sec und einer Gewichtsbelastung von 10 kg durchgeführt.

In den nachfolgenden Abbildungen sind jeweils vier unmittelbar aufeinanderfolgende Phasen des Bruchvorganges dargestellt. Sie liegen in einem zeitlichen Abstand von 0,0042 sec oder $\frac{1}{240}$ sec. Jedes Einzelbild ist $\frac{1}{100\,000}$ sec belichtet. Jeweils links von der Rückseite der Tibia

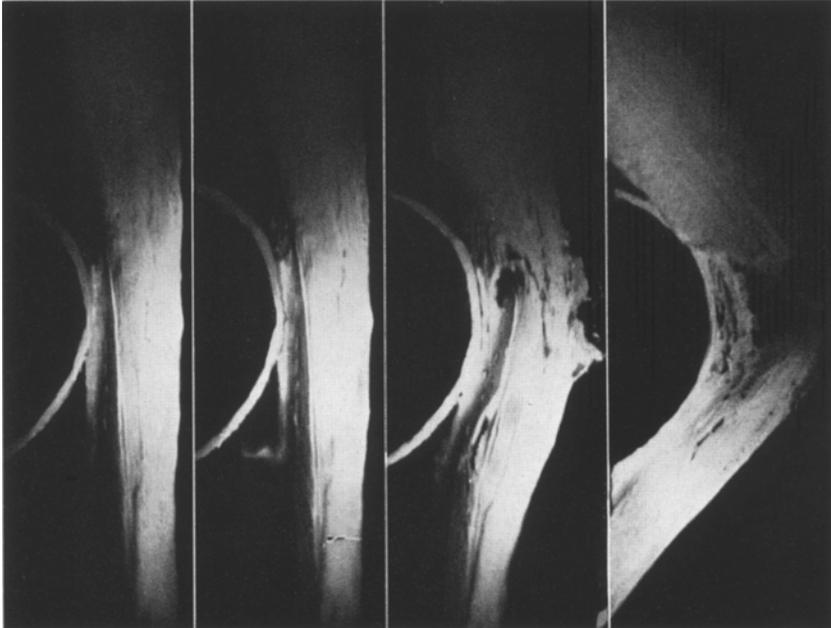


Abb. 11. Versuch Nr. 15, 34 Jahre, ♂, 317/62. Schlagrichtung dorso-ventral. Durchbiegung des Tibiaschaftes vor dem Bruch

oder deren Kante ist das Profil des Stoßstangenteils sichtbar. In allen 12 Versuchen erfolgte der Bruch bei der angegebenen Auftreffgeschwindigkeit im Zeitraum von etwa $\frac{1}{100}$ sec, gemessen vom Augenblick der Berührung des Knochens durch den Schlagkörper bis zu seiner Zerstörung.

Dabei kommt deutlich die Abplattung des Stoßstangenblechs zur Ansicht. Sie erfolgt durch das Auftreffen am Knochen, der dabei eine Verformung erleidet. Diese erfolgt entweder in Form einer Durchbiegung des gesamten Tibiaschaftes oder nur als örtliche Eindellung des vom Stoßstangenteil getroffenen Abschnittes, ohne daß dabei eine Durchbiegung des gesamten Knochens nachweisbar ist.

Es fällt dabei auf, daß eine Durchbiegung vor allem beim Schlag auf die dorsale Fläche eintritt, während dies beim Schlag auf die Kante

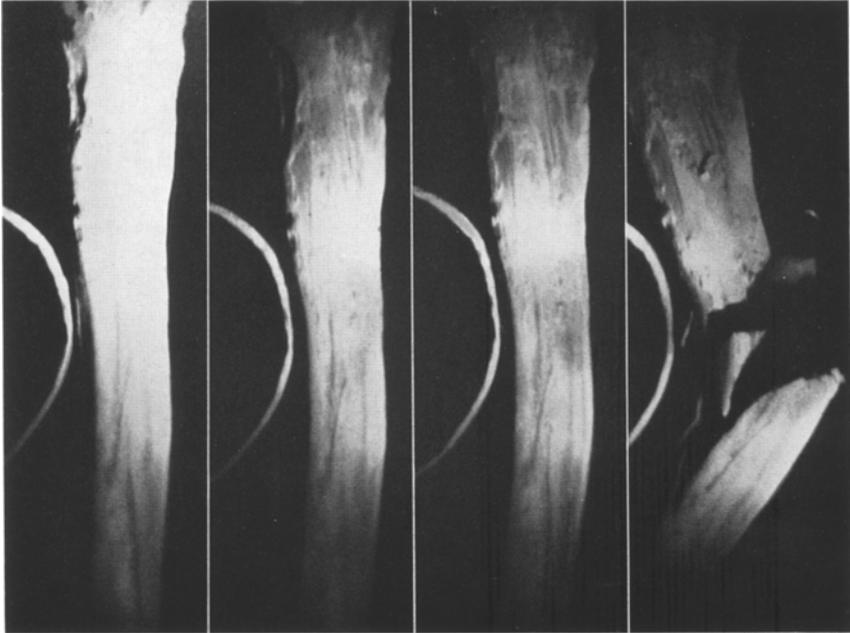


Abb. 12. Versuch Nr. 16, 61 Jahre, ♀, 283/62. Schlagrichtung dorso-ventral. Deutliche Durchbiegung. Angedeutete örtliche Eindellung

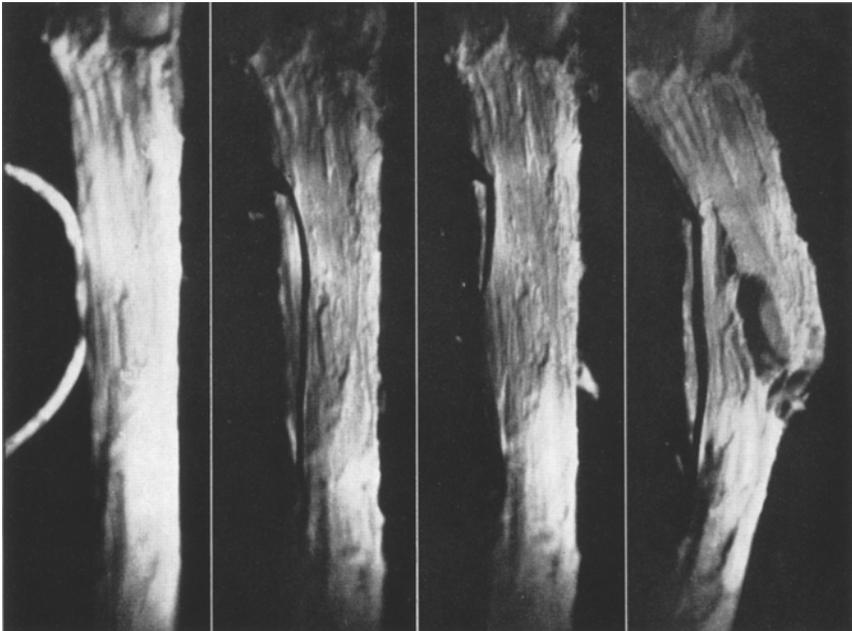


Abb. 13. Versuch Nr. 19, 57 Jahre, ♂, 308/62. Schlagrichtung ventro-dorsal. Eindellung am Auftreffgebiet. Keine Gesamtverformung. Im Bild rechts außen ist die Basis des entstehenden Bruchkeiles erkennbar

fehlt, oder nur andeutungsweise erkennbar ist. Im letzteren Falle steht die örtliche Eindellung im Vordergrund. Die folgenden Abbildungen lassen dies deutlich erkennen.

Obwohl im Versuch 15 (Abb.11) eine schwache Ausbiegung des Tibiaschaftes erkennbar ist, entstand kein Keil-, sondern ein Trümmerbruch. Hingegen kann, wie der Versuch Nr.19 (Abb.13) zeigt, auch eine keilförmige Aussprengung ohne vorherige Biegung des gesamten Knochens erfolgen. Eine wiederum andere Situation ergibt sich aus dem Versuch Nr.16 (Abb.12), bei dem eine deutliche Ausbiegung eintrat. Der entstandene Bruchkeil weist jedoch mit der Spitze zum Angriffspunkt der einwirkenden Gewalt.

Es geht aus diesen Befunden deutlich hervor, daß die herkömmliche Vorstellung der sogenannten „Biegungsbrüche“ mit dem Auftreten eines „Biegungskeiles“ auf dynamische Frakturen nicht angewendet werden kann.

Das Fehlen von „umgekehrten Bruchkeilen“ beim Schlag auf die Tibiakante fällt auch in dieser Versuchsreihe, ebenso wie in den Versuchen der Reihe I auf.

IV. Ergebnisse

Die durch direkten Anprall entstehenden Verletzungen der unteren Gliedmaßen lassen sich durch ihren besonderen Sitz und zum Teil durch weitere charakteristische Merkmale von solchen unterscheiden, die durch anderweitige Einwirkungen stumpfer Gewalt auftreten. Dies liegt in der Mechanik des Anprallvorganges begründet, bei dem der Körper entweder an die Innenfläche eines Kraftwagens angeschleudert wird oder, beim Fußgänger, Teile eines Fahrzeuges den Körper treffen.

Bei Fahrzeuginsassen werden als typische Verletzungen der unteren Gliedmaßen vor allem Knochenbrüche der Fersenbeine, der Kniescheibe und des Oberschenkels gefunden. Sie entstehen durch Stauchung der am Wagenboden abgestützten Füße oder durch Anprall des Kniegelenkes am Armaturenbrett.

Unter den bei uns herrschenden Straßenverkehrsbedingungen besitzen die Anprallverletzungen der Fußgänger größte Bedeutung für die Unfallrekonstruktion. Es muß daher verlangt werden, daß bei der ersten Untersuchung Unfallverletzter eine möglichst genaue Registrierung der vorliegenden Verletzungen erfolgt. Dabei ist die Messung des Abstandes zur Fußsohle von größter Bedeutung, da nur durch diese Maßnahme eine Anprallverletzung als solche erkennbar wird. Es ist weiters notwendig, ihre Lage in bezug auf den Umfang des Ober- oder Unterschenkels (lateral, dorsal usw.) und ihre Art (Blutunterlaufung, Abschürfung, Quetschwunde) festzuhalten.

Hautverletzungen durch direkten Anprall am *Oberschenkel* entstehen durch Einwirkung der Stoßstange von Lastkraftwagen oder höher-

liegender, vorragender Teile von Personenkraftwagen, wie z.B. durch das Scheinwerfergehäuse. Am *Unterschenkel* kommen sie fast ausschließlich durch die Stoßstange von Personenkraftwagen zustande und liegen daher meist 20—40 cm über der Fußsohle. In dieser Höhe liegende, umschriebene *Blutunterlaufungen* dürfen als Anprallverletzungen gewertet werden. Liegen *Abschürfungen* vor, kann aus ihnen, wenn sie besonders geformt sind, die Gestalt des verletzenden Teiles erschlossen werden. Weiters ist es möglich, an ihnen die Anstoßrichtung des Fahrzeugteiles zu erkennen, wenn das Epithel an einem Rand der Abschürfung zusammengeschoben ist. Häufig werden bei Obduktionen umschriebene *Zertrümmerungen des subcutanen Fettgewebes* festzustellen sein, auch wenn keine Abschürfung besteht. An der Leiche erfordert die Untersuchung von *Quetschwunden* als Anprallfolge besondere Sorgfalt. Sie dürfen nicht mit postmortal auftretenden Vertrocknungssäumen von Hautdurchspießungen durch Frakturfragmente verwechselt werden.

Liegen keine äußerlich erkennbaren Verletzungen vor, darf deshalb eine direkte Gewalteinwirkung auf die Gliedmaßen nicht ausgeschlossen werden. Es ist sogar selten, daß beim Anprall an der Wade Hautverletzungen entstehen. In solchen Fällen muß bei der Leichenöffnung stets die *Muskulatur* eingeschnitten werden. Hat ein Anprall stattgefunden, sind hier zumindest Blutunterlaufungen nachzuweisen. Ist zu entscheiden, ob eine Wunde der Haut durch Einwirkung von außen oder infolge Durchspießung von Bruchfragmenten entstand, kann die Präparation der Muskulatur wertvolle Hilfe leisten.

Von größtem Interesse für den Gutachter sind die *Knochenbrüche* durch direkten Anprall. Sie entstehen durch Einwirkung der Stoßstange. Im allgemeinen ist mit solchen zu rechnen, wenn die Geschwindigkeit des verletzenden Fahrzeuges über 30 km/h betrug. Wie aus den Ergebnissen der Leichenöffnungen und aus unseren experimentellen Untersuchungen hervorgeht, liegen sie stets in der gleichen Höhe wie der verletzende Teil des Fahrzeuges.

Zur Klärung der Frage, ob die *Frakturform* jene Bedeutung besitzt, die ihr in der Begutachtung vielfach zugemessen wird, haben wir Bruchversuche durch Schlag auf Leichenschienbeine durchgeführt. Es sollte damit überprüft werden, ob durch dynamische Einwirkung dieselben Bruchformen auftreten, wie sie im statischen (Biege-)Versuch durch seitlichen Druck auf den Schaft entstanden.

Bei unseren Versuchen war dies nur teilweise der Fall. Es traten dabei die verschiedensten Bruchformen auf, ohne daß eine sichere Beziehung der Auftreffgeschwindigkeit, der Schlagrichtung und dem Gewicht feststellbar war. So zeigte sich beim Bruch von Schienbeinpaaren einer Leiche, daß unter denselben Bedingungen an beiden Knochen sowohl gleiche als auch verschiedene Bruchformen entstehen können. Dies

führt zur Vermutung, daß die Gestalt des entstehenden Bruches nur zum geringeren Teil von äußeren Bedingungen abhängig ist, sondern vielmehr in den, dem einzelnen Knochen innewohnenden Eigenschaften begründet liegt. Diese Auffassung findet eine weitere Stütze durch die bei der Untersuchung der sogenannten „Biegungsbrüche“ festgestellten Befunde. Statt der Aussprengung von keilförmigen Stücken — deren Basis im Biegeversuch immer an der Angriffsseite der Kraft lag — traten in unseren Versuchen neben gänzlich anderen Bruchformen auch keilförmige Aussprengungen auf, deren Basen aber ebensooft dem Angriffspunkt der Gewalt abgewendet als diesem zugekehrt lagen. Dabei war keine Beziehung zur Auftreffgeschwindigkeit erkennbar. Darüber hinaus aber sahen wir in einzelnen Fällen, daß die Basen der entstandenen Bruchkeile nach seitlich verdreht waren. Sie wiesen nach lateral oder medial, obwohl der Schlag in sagittaler Richtung erfolgt war.

Es ist also offenbar auch hier nicht der äußere Kraftangriff, der die Form des entstehenden Bruches bestimmt, sondern sehr wahrscheinlich die durch ihn induzierten inneren Kräfte, die „Spannungen“. Sicherlich spielt auch die Reaktionsweise des Knochens eine wesentliche Rolle. Sie muß unter Beachtung der Auftreffgeschwindigkeit als „spröde“ angenommen werden. Daß tatsächlich eine spröde Reaktion vorliegen kann, beweisen die Ergebnisse der photographischen Frakturanalyse. Es zeigte sich hier, daß dem Bruch keinesfalls immer eine Gesamtverformung des Knochens, eine Durchbiegung vorangehen muß. Selbst nicht in jenen Fällen, die mit Entwicklung eines Bruchkeiles als typische „Biegungsbrüche“ angesehen werden könnten. Andererseits kann nach primärer Durchbiegung des Knochens auch ein Quer- oder Trümmerbruch entstehen. Diese Erscheinung zeigte sich bereits bei den in unseren Versuchen verwendeten niedrigen Auftreffgeschwindigkeiten. Es ist zu erwarten, daß bei höheren Geschwindigkeiten noch eher eine Durchbiegung ausbleiben wird und damit für Anprallgeschwindigkeiten, wie sie im Straßenverkehr vorkommen, mit einer „spröden“ Reaktionsweise des Knochens zu rechnen ist. Unsere Ergebnisse stellen damit eine indirekte Bestätigung der Erkenntnisse von RÖSSLER, HAASE und auch von HAASE und RICHTER dar.

Für die praktische Anwendung in der Begutachtung aber ergibt sich daraus: *die Ergebnisse statischer Bruchversuche dürfen nicht zur Deutung dynamisch bedingter Frakturen herangezogen werden. Die Bruchform, bzw. die gestaltlichen Beziehungen der Bruchlinien zueinander, lassen weder sichere Schlüsse auf die Richtung der das Schienbein treffenden Gewalt, noch auf deren Geschwindigkeit zu.*

Eine Rekonstruktion des Unfallherganges ist daher nur unter *Verwertung sämtlicher, als Anprallverletzung festgestellter Schäden* der Haut,

der Weichteile und des Knochens mit jener Sicherheit möglich, die als Basis der rechtlichen Beurteilung verlangt werden muß.

Es muß daher abermals auf die entscheidende Bedeutung einer rechtzeitigen genauen Aufnahme aller Befunde am Unfallverletzten hingewiesen werden. Für den Obduzenten ergibt sich, daß nur durch eine systematische und genaue Untersuchung an der frischen Leiche alle Verletzungen sicher festgestellt und einwandfrei gedeutet werden können.

Literatur

- BAUER, K. H.: Über Verkehrsunfälle aus der Sicht des Chirurgen. Langenbecks Arch. klin. Chir. **279**, 141 (1954).
 — Unfallchirurgische Tagg Frankfurt 1953. Ref. Mschr. Unfallheilk. **57**, 135 (1954).
- BENNINGHOFF, A.: Lehrbuch der Anatomie des Menschen, Bd. I, S. 73. München-Berlin: J. F. Lehmann 1939.
- BITZEL, F.: In: LAVES-BITZEL-BERGER, Der Straßenverkehrsunfall, S. 27. Stuttgart: Ferdinand Enke 1956.
- BÖHLER, L., R. BARTL, J. ENDER, H. JAHNA, W. KRÖSL, H. KROTSCHKEK, E. SCHARIZER u. G. ZRUBECKY: Bericht über die bei 3308 Unterschenkelbrüchen in den Jahren 1926 bis 1950 im Wiener Unfallkrankenhaus erzielten Behandlungsergebnisse unter Benützung des Hollerithverfahrens. Hefte Unfallheilk. H. 54 (1957).
- BREITENECKER, L.: Der Verkehrsunfall aus gerichtsmedizinischer Sicht. Öst. Ärzteztg **15**, 40 (1960).
- BRÜCKNER, H.: Mehrfachfrakturen der Gliedmaßen. Mschr. Unfallheilk. **65**, 101 (1962).
- BÜTTNER, G., u. E. FRIEDHOFF: Die Armaturenbrettverletzungen des Autoinsassen. Zbl. Verkehrs-Med. **5**, 201 (1959).
- BUHTZ, G.: Der Verkehrsunfall. Stuttgart: Ferdinand Enke 1938.
- DETLING, J.: In: Handwörterbuch der gerichtlichen Medizin und naturwissenschaftlichen Kriminalistik, S. 890. Berlin: Springer 1940.
 — In: DETTLING-SCHÖNBERG-SCHWARZ, Lehrbuch der gerichtlichen Medizin, S. 158. Basel-New York: S. Karger 1951.
- EVANS, F. G., H. E. PEDERSEN and H. R. LISSNER: The role of tensile stress in the mechanism of femoral fractures. J. Bone Jt Surg. **33a**, No. 2, 485 (1952).
- HAASE, W.: Technisch-physikalische Untersuchungen an Knochenbrüchen. Bruns' Beitr. klin. Chir. **164**, 243 (1936).
 — Schubebene und Zerrüttungszone beim Knochenbruch. Arch. orthop. Unfall-Chir. **37**, 592 (1937).
 —, u. G. RICHTER: Knochenbrüche, beurteilt nach den Grundsätzen und Erkenntnissen der technischen Mechanik. Arch. orthop. Unfall-Chir. **36**, 541 (1936).
- HIRSCH, C., A. CAVADIAS and A. NACHEMSON: An attempt to explain fracture types. Ref. Zentr.-Org. ges. Chir. **137**, 220 (1955).
- IPSEN, C.: Zur Mechanik von Knochenbrüchen. Vjschr. gerichtl. Med. **33**, Suppl., 240.
- KNESE, K. H., O. H. HAHNE u. H. BIERMANN: Festigkeitsuntersuchungen an menschlichen Extremitätenknochen. Gegenbaurs morph. Jb. **96**, 141 (1956).

- KOLTZE: Zit. nach SCHARF.
- KOSLOWSKI, L., u. H. RAUCH: Über Mehrfachbrüche an den unteren Gliedmaßen. Mschr. Unfallheilk. **62**, 263 (1959).
- KÜNTSCHER, G.: Die Bedeutung der Darstellung des Kraftflusses im Knochen für die Chirurgie. Langenbecks Arch. klin. Chir. **182**, 489 (1935).
- KULOWSKI, J.: Crash injuries. Springfield, Ill.: Ch. C. Thomas 1960.
- LAVES, W., F. BITZEL u. E. BERGER: Der Straßenverkehrsunfall. Stuttgart: Ferdinand Enke 1956.
- MATTI, H.: Die Knochenbrüche und ihre Behandlung. Berlin: Springer 1931.
- MEIXNER, K.: Irreführende Befunde an Ausschüssen. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **1**, 151 (1922).
- Vom Vertrocknungssaum an Ausschußwunden. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **21**, 184 (1933).
- MERKEL, H., u. K. WALCHER: Gerichtsärztliche Diagnostik und Technik, S. 85. Leipzig: S. Hirzel 1936.
- MESSERER, O.: Über Elasticität und Festigkeit der menschlichen Knochen. Stuttgart: J. G. Cotta 1880.
- Über die gerichtlich-medizinische Bedeutung verschiedener Knochenbruchformen. Friedreichs Bl. gerichtl. Med. **36**, 81 (1885).
- MUELLER, B.: Zur Morphologie des Wundrandes bei Verletzungen durch stumpfe Gewalt. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **22**, 299 (1933).
- ORSÓS, F.: Zeichen der durch tangential Reibung verursachten Epithelabschürfungen. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **34**, 359 (1941).
- Der Mechanismus der Epithelabschürfungen. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **37**, 33 (1943).
- PAUWELS, F.: Die Bedeutung der Muskelkräfte für die Regelung der Beanspruchung des Röhrenknochens während der Bewegung der Glieder. Z. Anat. Entwickl.-Gesch. **115**, 327 (1951).
- PIPKIN: Zit. nach KULOWSKI.
- PONSOLD, A.: Lehrbuch der gerichtlichen Medizin, S. 335. Stuttgart: Georg Thieme 1957.
- PROKOP, O.: Lehrbuch der gerichtlichen Medizin, S. 184. Berlin: Volk und Gesundheit 1960.
- RAEKALLIO, J.: Histochemical studies on vital and post-mortem skin wounds. Ref. Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med. **52**, 352 (1962).
- RAUBER: Zit. nach KNESE, HAHNE, BIERMANN.
- REMUND, M. H.: Gerichtsmedizinische Erfahrungen und Probleme bei Automobilunfällen. Basel: Benno Schwabe & Co. 1931.
- RICKLIN, P.: Der Straßenverkehrsunfall. Unfallmedizinische und chirurgische Probleme. Helv. chir. Acta, Suppl. **9** (ad Vol. 25, p. 958), fasc. 3. (1958).
- RÖSSLE, R.: Versuche über die Schlagfestigkeit des menschlichen Oberschenkelknochens. Beitr. path. Anat. **83**, 261 (1930).
- ROSENFELD, W.: Die Fibula als Sperrknochen. Zbl. Chir. **82**, 68 (1957).
- SCHARF, J. H.: Bau und Funktion des Knochens. Zbl. Chir. **85**, 809 (Kongreßheft 1960).
- SCHWARZ, F.: Zur Spurenkunde des Verkehrsunfalles. Arch. Kriminol. **104**, 56 (1939).
- SEIDL: Zit. nach HAASE u. RICHTER.
- SEIFERT, E.: Der Verrenkungsbruch des Hüftgelenkes als Kraftfahrzeugverletzung. Bruns' Beitr. klin. Chir. **178**, 95 (1949).
- Dtsch. Z. ges. gerichtl. Med., Bd. 54

- SJÖVALL, H.: Die Formen der Frakturen der langen Röhrenknochen. Zbl. Chir. **82**, 1234 (1957).
- TITZE, A.: Der Fersenbeinbruch im Straßenverkehrsunfall. Mschr. Unfallheilk. **64**, 147 (1961).
- VOLLMAR, J., u. K. BENZ: Der Knieanprall und seine Verletzungen bei Auto- und Motorradfahrern. Arch. orthop. Unfallchir. **52**, 438 (1960).
- WÖLKART, N.: In: LAVES-BITZEL-BERGER, Der Straßenverkehrsunfall, S. 316. Stuttgart: Ferdinand Enke 1956.

Dr. med. H. PATSCHEIDER,
Institut für gerichtliche Medizin der Universität,
Innsbruck (Österreich), Müllerstraße 44/II