

Rasterelektronenmikroskopisch erfaßbare Schußzeichen am Knochen*

Dieter Speeter und Jochen Ohnsorge
Orthopädische Universitätsklinik Köln (BRD)

Eingegangen am 7. Mai 1973

Investigations for Determination of Shot Direction in Bones with Scanning Electron Microscopy

Summary. Scanning electron microscopic investigations of 49 bullet tracks in human femoral bone yielded five informative shot signs. Scrape marks of the projectile and lamella deflections in the shot direction could be detected. In the spongiosa bone fragmentation in the shot direction and secondary bending fractures of the trabeculae were seen. Below the fracture level of several trabeculae bone lamella flakes in the shot direction were frequently visible. Areas of flakes could easily be differentiated from the intact bark-like spongiosa surface.

Zusammenfassung. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen von 49 Schußkanälen in menschlichen Femura haben fünf aufschlußreiche Schußzeichen ergeben. In der Knochencompacta waren *Schleifspuren* des Geschosses sowie *Lamellenabbiegungen in Schußrichtung* erkennbar. Im Bereich der Spongiosa ließen sich *Spongiosaabbrüche in Schußrichtung* sowie sekundäre *Biegsbrüche* an der Ausschußseite der Spongiosabälkchenwandlung nachweisen. Unterhalb der abgebrochenen Spongiosabälkchen waren häufig *Abblätterungen einzelner Knochenlamellen* in Schußrichtung sichtbar, die sich von der intakten baumrindenartigen Spongiosaoberfläche eindeutig abgrenzen ließen.

Key words: Stumpfe Gewalt, Schuß — Schuß, Zeichen am Knochen.

Der Nachweis von Einschuß- und Ausschußöffnungen am Knochen ist forensisch wichtig für die Bestimmung der Schußrichtung. Bei Skeletfundus sind jedoch die Schußöffnungen nicht immer klar erkennbar. Dies gilt insbesondere dann, wenn das umgebende Haut- und Muskelgewebe zerstört oder durch Verwesung verändert ist und somit die Indizien entfallen, die bisher für eine Bestimmung von Einschuß und Ausschuß notwendig waren. Ein Geschoß verursacht jedoch außer Einschuß- und Ausschußöffnung auch im Bereich des Schußkanals schußspezifische Veränderungen des Knochengewebes. Die Kenntnis dieser Veränderungen muß eine eindeutige *Bestimmung der Schußrichtung* ermöglichen.

Trifft ein Geschoß auf freitragenden Knochen, wie zum Beispiel Schädelknochen, senkrecht auf, so erteilt es dem Knochen einen Impuls in Schußrichtung. Die durch den Impuls beschleunigten Knochenteile der Tabula externa können sich jedoch nicht dem Impuls entsprechend bewegen, da die Ausdehnungsmöglichkeit der beschleunigten Knochenteile durch die Diploe und die Tabula interna

* Herrn Prof. Dr. G. Dotzauer zum 60. Geburtstag gewidmet.

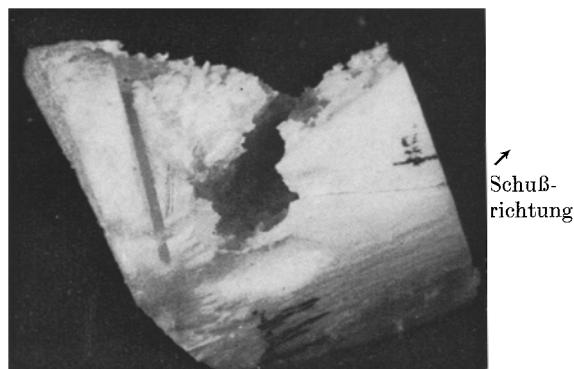


Abb. 1. *Einschuß* im Femurschaft. Der Schußkanal ist teilweise eröffnet. Knochenpräparat ist noch unbedampft (Schußrichtung ⚡)

eingeschränkt wird (Sellier). Beim *senkrechten Eintritt des Geschoßes* in den Knochen erfolgt eine Kompression des Knochengewebes parallel zur Oberfläche. Durch die Elastizität des Knochengewebes wird die Einschußöffnung kurzzeitig vergrößert, wodurch vom Geschoß ein Einschußloch verursacht wird, dessen Durchmesser kleiner ist als der Durchmesser des Geschosses (Berg; Sellier; u. a.). Trifft das Geschoß auf die Tabula interna, so bricht diese an der Stelle des größten Biegemomentes in Schußrichtung auf. Es entsteht ein kalibergroßer, trichterförmiger Ausschuß mit typischen Knochenaussprengungen.

Beim *Schrägschuß* wird das umliegende Knochengewebe nicht mehr radial und parallel zur Oberfläche verdrängt, sondern am mündungsfernen Rand des Einschusses wird die äußere Knochenlamelle nach außen aufgeworfen, während am mündungsnahen Rand des Einschusses Knochenaussprengungen entstehen können. Am Ausschuß werden bei Schrägschüssen sowohl am mündungsfernen als auch am mündungsnahen Rand Knochenaussprengungen beobachtet.

Beim durchschossenen Röhrenknochen können durch sekundäre Krafteinwirkungen Veränderungen im Bereich des Schußkanals hervorgerufen werden, die in bezug auf Einschuß- und Ausschußöffnung zu Fehldeutungen führen können. Vom Einschuß bis zum Ausschuß gibt das Geschoß im Schußkanal ständig Energie an das umliegende Knochengewebe ab, es müssen daher im Bereich des Schußkanals sowohl an der Oberfläche der Spongiosabälkchen als auch an der *Corticalis* deutliche Oberflächenveränderungen hervorgerufen werden. Da diese Veränderungen nicht immer in einer optischen Ebene liegen, sind sie sowohl mit dem Lichtmikroskop als auch mit dem Transmissionselektronenmikroskop nicht ohne weiteres zu erkennen. Wir haben daher versucht, mit Hilfe eines *Rasterelektronenmikroskops* Veränderungen der Knochenstruktur im Bereich des Schußkanals festzustellen, um daraus die forensisch wichtige Bestimmung der Schußrichtung im Knochen zu ermöglichen.

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen gewinnen auch in der *forensischen Grundlagenforschung* zunehmend an Bedeutung. 1971 berichtete Böhm über rasterelektronenmikroskopisch erfaßbare Stromverletzungen der Haut. Er konnte spezifische Veränderungen im Kontaktbereich zwischen Elektroden und

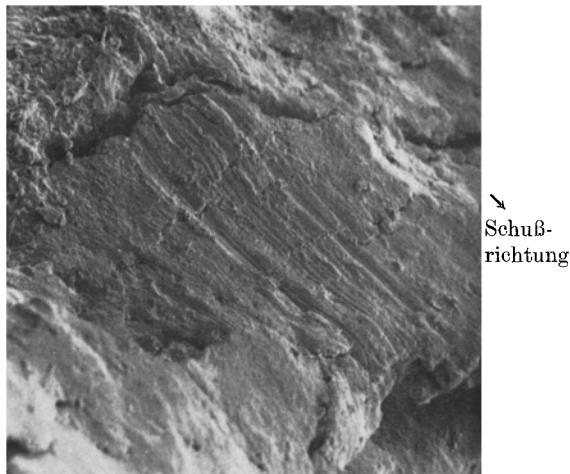


Abb. 2. *Schleifspuren* des Geschosses an der *Knochencompacta* im Bereich des Schußkanals. Präparat ist mit Kohlenstoff und Gold dünn bedampft. REM 250fach (Schußrichtung →)

Haut nachweisen. Weiter beschrieb er Hautveränderungen im Einschuß- und Ausschußbereich sowie konzentrische Frakturlinien an den Ausschußlöchern. Außerdem konnte er rasterelektronenmikroskopisch Veränderungen an den Haaren feststellen, die durch Geschosse hervorgerufen worden waren.

Hantsche u. Schwarz empfahlen 1971 das Rasterelektronenmikroskop als Hilfsmittel zur Identifizierung von Werkzeugspuren. Sie konnten mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops beweisen, daß Kratzspuren an einem Metallschloß tatsächlich mit dem dazu benutzten Schraubenzieher verursacht worden waren.

Das Rasterelektronenmikroskop dient vornehmlich zur *Abbildung von Objektoberflächen*. Die zu untersuchende Objektoberfläche wird im Rasterelektronenmikroskop von einem feingebündelten Elektronenstrahl punkt- und zeilenförmig abgetastet. Dabei werden aus der Objektoberfläche unter anderem Sekundärelektronen freigegeben. Die Information dieser Sekundärelektronen dient zum punkt- und zeilenförmigen Aufbau des rasterelektronenmikroskopischen Bildes auf dem Bildschirm einer Braunschen Röhre. Neben den Sekundärelektronen können auch die reflektierten Elektronen, die durchdringenden Elektronen, die Röntgenemission und die Kathodolumineszenz für die Darstellung der Objektoberfläche ausgewertet werden. Die elementspezifische Röntgenemission und die Kathodolumineszenz ermöglichen eine *Materialdifferenzierung* der elektronenoptisch abgebildeten Objektoberfläche.

Das *Auflösungsvermögen* eines Rasterelektronenmikroskops ist heute besser als 200 Å. Dies entspricht einer förderlichen *Vergrößerung* bis etwa 20000fach. Die *Schärfeentfernung* des Rasterelektronenmikroskops ist ungefähr 300mal größer als die des Lichtmikroskops, wodurch die räumliche Wirkung rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen ermöglicht wird.

Um Oberflächenveränderungen der Knochenstruktur im Schußkanal sowohl an der Corticalis als auch an der Spongiosa untersuchen zu können, wurden

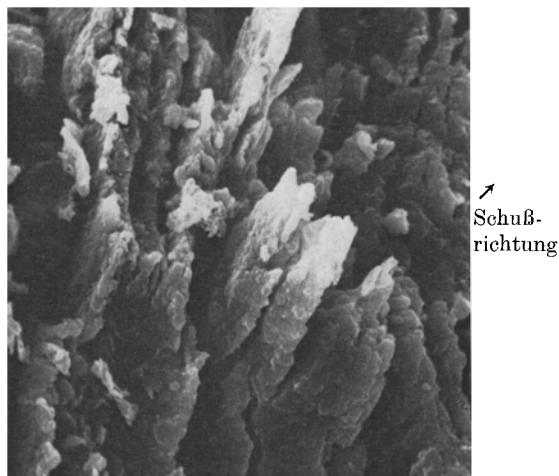


Abb. 3. *Knochencompacta* des Femurschaftes, Schußkanal. *Abbiegungen einzelner Knochenlamellen in Schußrichtung.* Präparat ist mit Kohlenstoff und Gold dünn bedampft. REM 1200fach (Schußrichtung ↗)

Femura aus frischen Leichen entnommen. Mit einer Pistole der Firma Walther, Kaliber 7,65 (PPK), wurde aus einer Entfernung von 0,3 bis 10 m auf diese Femura geschossen, wobei Durchschüsse im Femurkopf, Femurschaft und im Kondylenbereich erzielt werden konnten. Einschuß und Ausschuß wurden am Knochen mit Kunststoffnägeln eindeutig markiert. Der jeweilige Schußkanal (Abb. 1) wurde in einem ausreichend großen Knochenstück aus dem Femur herausgesägt. Noch geschlossene Schußkanäle wurden an den meist latent vorhandenen Bruchlinien vorsichtig auseinandergeklappt. Waren keine Bruchlinien vorhanden, wurde der Schußkanal mit einer feinen Säge eröffnet und die Knochenpräparate auf Objektischgröße zurechtgeschnitten.

Die *Präparate* wurden kurz in physiologischer Kochsalzlösung gespült, wodurch auflagernde Artefakte wie Splitter usw. entfernt wurden. Die Präparatfixierung erfolgte in Phosphatpuffer-Glutaraldehyd bei einem pH-Wert von 7,8. Anschließend wurden die Knochenpräparate 10 Tage lang in einem Benzol-Aceton-Gemisch 1:1 entfettet und danach noch einmal kurzzeitig fixiert. Zum Ablösen von Eiweißresten wurden die Knochenpräparate dann für 30 min in eine 30%ige Wasserstoffsperoxydlösung gelegt und anschließend mit destilliertem Wasser vorsichtig abgespült. Die luftgetrockneten Knochenpräparate wurden mit einer wenige 100 µm dicken Kohlenstoff- und Goldschicht bedampft. Kohlenstoff ist ein gut haftender Überzug, während Schwermetall der intensiven Sekundärelektronenemission und damit einem hohen Auflösungsvermögen dient. Insgesamt konnten 49 einwandfrei bedampfte Schußpräparate ausgewertet werden.

Erwartungsgemäß konnten sowohl in der *Corticalis* als auch im *Spongiosa*-bereich schußspezifische Veränderungen mit dem Rasterelektronenmikroskop erfaßt werden.

Im Bereich der *Knochencompacta* hinterläßt das Geschoß *Schleifspuren* (Abb. 2) an der Schußkanalwandung, die möglicherweise in Einzelfällen Rückschlüsse auf

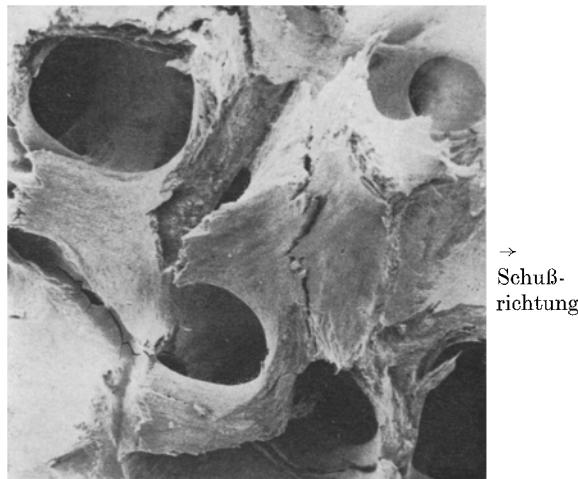


Abb. 4. In Schußrichtung *abgebrochene Knochenspongiosa*. Einzelne zusätzliche Bruchlinien im Spongiosagerüst. Präparat ist mit Kohlenstoff und Gold dünn bedampft. REM 50fach (Schußrichtung →)

das Geschoß erlauben. Da es sich ausschließlich um Oberflächenveränderungen handelt, sind diese Schleifspuren mit dem Rasterelektronenmikroskop besonders eindeutig nachweisbar. Die in den Schußkanal hineinreichenden, aufgefasernten *Knochenlamellen erscheinen in Schußrichtung abgebogen* (Abb. 3). Mit Hilfe dieser Lamellenabbiegung kann die Richtung des Geschosses bestimmt werden.

Im *Spongiosabereich* des Knochens wird die Schußrichtung des Geschosses noch wesentlich eindrucksvoller als im Compactabereich erkennbar. Hier sind Teile des *Spongiosagerüstes in Richtung zur Ausschußöffnung hin abgebrochen* (Abb. 4). Dies wird besonders gut sichtbar bei ausreichend gespülten Knochenpräparaten. Es muß jedoch beachtet werden, daß mitgerissene Knochensplitter wie Sekundärgeschosse wirken können. Von diesen Knochensplittern verursachte Abbrüche der Knochenbalkchen zeigen keine Abscherung in Schußrichtung. Eine sorgfältige Durchmusterung unter möglichst vielen Blickwinkeln ist daher unerlässlich.

Als weitere Schußzeichen wurden zahlreiche sekundäre *Biegsbrüche an der Ausschußseite der Spongiosabalkchenwandung* (Abb. 5) erkennbar.

Ein Spongiosabalkchen besitzt im unversehrten Zustand eine rasterelektronenmikroskopisch erfaßbare baumrindenartige Oberflächenstruktur, die nach Ohnsorge u. Holm durch oberflächlich verlaufende Fibrillen der äußeren Knochenlamelle bedingt ist. Im spongiösen Bereich des Schußkanals ist häufig, jedoch nicht bei allen Präparaten, eine *Abblätterung einzelner oberflächlicher Knochenlamellenplatten in Schußrichtung* (Abb. 6) meist direkt unterhalb eines Knochenbalkchenabbruches sichtbar. Die baumrindenartige, ungeschädigte Spongiosa-oberfläche ist deutlich von der Knochenlamellenabblätterung abgrenzbar.

Die hier mitgeteilten fünf rasterelektronenmikroskopisch erfaßbaren Schußzeichen am Knochen betreffen nur Schußverletzungen durch langsame Geschosse

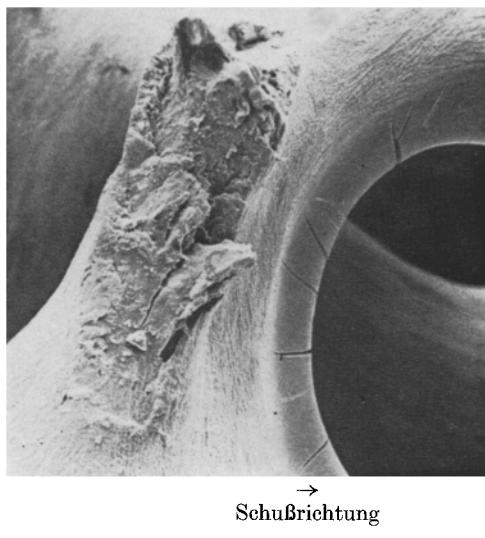


Abb. 5. Abbiegung der Knochenspongiosa in Schußrichtung mit zahlreichen sekundären *Biegungsbrüchen* an der Ausschußseite des Spongiosabälkchens. Präparat ist mit Kohlenstoff und Gold dünn bedampft. REM 280fach (Schußrichtung →)

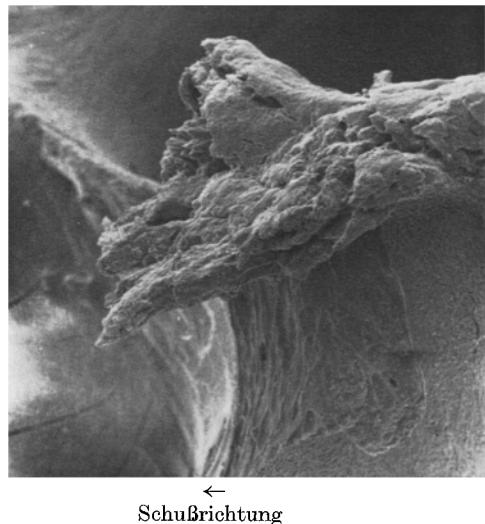


Abb. 6. *Spongiosa*, *Abblätterung einzelner Knochenlamellenplatten* in Schußrichtung unmittelbar unterhalb des Spongiosabälkchenabbruches in Schußrichtung. Präparat ist mit Kohlenstoff und Gold dünn bedampft. REM 250fach (Schußrichtung ←)

mit einer Geschwindigkeit bis zu 300 m/sec. Der große Vorteil der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung ist die Anschaulichkeit dieser Methode. Die räumliche Darstellung des Schußkanals lässt eine Aussage über die Schußrichtung in Knochencompacta und Knochenspongiosa zu.

Literatur

- Ardenne, M. v.: Das Rasterelektronenmikroskop. Theoretische Grundlagen. Z. Phys. **109**, 553—572 (1938)
- Berg, S.: Die Durchschlagskraft von Pistolengeschossen im menschlichen Körper. Arch. Kriminol. **134**, 17 (1964)
- Berg, S.: Gerichtliche Medizin, 8. Auflage. München: Müller & Steinicke 1968.
- Böhm, E.: Zur Präparation biologischer Objektoberflächen. Beitr. elektronenmikroskop. Direktabb. Oberfl. **4**, 549 (1971a)
- Böhm, E.: Tieftemperaturmethoden und ihre Anwendung zur Präparation biologischer Objekte für Oberflächenuntersuchungen im REM. Beitr. elektronenmikroskop. Direktabb. Oberfl. **4/2**, 563 (1971b)
- Boyde, A., Hobdell, M. H.: Scanning electron microscopy of primary membrane bone. Z. Zellforsch. **99**, 108 (1969)
- Hantsche, H., Schwarz, W.: Das Rasterelektronenmikroskop als Hilfsmittel zur Identifizierung von Werkzeugspuren. Arch. Kriminol. **148**, 24 (1971)
- Ohnsorge, J.: Festkörperoberflächenuntersuchungen mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops. Z. Orthop. **107**, 213—220 (1970a)
- Ohnsorge, J.: Elektronenoptische Untersuchungen von Metallimplantaten mit dem Rasterelektronenmikroskop. Habilitationsschrift, Universitätskliniken Köln 1970b
- Ohnsorge, J.: Möglichkeiten und Grenzen der Rasterelektronenmikroskopie. Beitr. gerichtl. Med. **24**, 259—265 (1972)
- Ohnsorge, J., Holm, R.: Die Spongiosafeinstruktur des Hüftkopfes im rasterelektronenmikroskopischen Bild. Arch. orthop. Unfall-Chir. **68**, 15—27 (1970)
- Ohnsorge, J., Holm, R.: Rasterelektronenmikroskopie. Eine Einführung für Mediziner und Biologen. — Scanning electron microscopy. An introduction for physicians and biologists. Stuttgart: Thieme 1973
- Ponsold, A.: Lehrbuch der gerichtlichen Medizin, 3. Aufl. Stuttgart: Thieme 1967.
- Reimer, L.: Elektronenmikroskopische Untersuchungs- und Präparationsmethoden. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1967
- Sellier, K.: Schußentfernungsbestimmung. Lübeck: Schmidt-Römhild 1967
- Sellier, K.: Schußwaffen und Schußwirkungen. Arbeitsmethoden der med. und nat.-wiss. Kriminalistik 8. Lübeck: Schmidt-Römhild 1969

Dr. Dieter Speeter
D-5000 Köln 41
Haselbergstraße 4
Bundesrepublik Deutschland

Priv.-Doz. Dr. Jochen Ohnsorge
Orthopädische Universitätsklinik
D-5000 Köln 41
Bundesrepublik Deutschland