

Werkzeugspuren an Knochen

von Hans Christian Küchelmann

1. Einleitung	1
2. Materialeigenschaften des Knochens	2
3. Forschungsgeschichte	3
4. Spurencharakteristika	4
4.1 Schnittspuren	5
4.2 Hiebsspuren	6
4.3 Schlagspuren	6
4.4 Sägespuren	8
4.5 Schabespuren	10
4.6 Bohrungen	10
4.7 Projektileinschläge / Stiche	11
5. Analyse von Werkzeugspuren in einem Mordfall	12
6. Verwechslungsmöglichkeiten mit anderen Spuren an Knochen	20
7. Danksagung	20
8. Literatur	20

1. Einleitung

Ein Gegenstand, der mit Kraft auf eine Oberfläche auftrifft, erzeugt in vielen Fällen eine Spur, die bedingt Rückschlüsse auf die Art des Gegenstandes und der Einwirkung erlaubt. Wird der Gegenstand durch intentionelle (absichtsvolle) menschliche Handlung geführt, spricht man von einem Werkzeug bzw. von Werkzeuggebrauch oder Werkzeugführung. Der Begriff absichtsvoll ist hier nicht als psychologische Kategorie im Sinne von "Zurechnungsfähigkeit" zu verstehen, sondern dient der Abgrenzung zu nicht menschlichen Spuren (z. B. Tierbisse, Wurzelätzung, etc.; s. u.) und zu Spuren, die nicht durch geführte Gegenstände erzeugt wurden (z. B. Sturzunfall). Aufgrund besonderer Materialeigenschaften weisen Werkzeugspuren an Knochen spezifische Charakteristika auf.

2. Materialeigenschaften des Knochens

Das Skelett der Wirbeltiere hat zwei wesentliche Funktionen: Zum Einen bildet es den sogenannten passiven Bewegungsapparat, d. h. es stellt in Form der einzelnen, gelenkig miteinander verbundenen Skelettelemente die statische Vorraussetzung für das Zustandekommen von Bewegungen dar. Zum Anderen schützt es die inneren Organe durch Bildung von Körperhöhlen vor traumatischen Einwirkungen von außen (Schädel, Brustkorb).

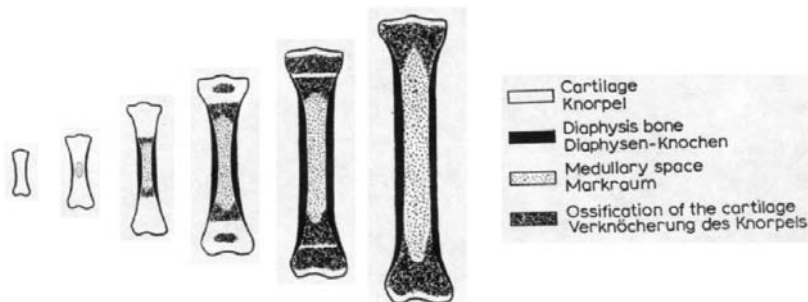
In der Embryonalentwicklung ist das Skelett zunächst als knorpeliges sogenanntes Primordialskelett angelegt, d. h. es besteht vollständig aus weichem Knorpelgewebe. Histologische Umwandlungsprozesse führen im Laufe des Wachstums zum Ersatz des Primordialskelettes durch das knöcherne Skelett. Abbildung 1a verdeutlicht dies am Beispiel eines Röhrenknochens.

Die Knochen bildenden Zellen scheiden zunächst eine faserige organische Grundsubstanz (Collagen, Ossein, Abb. 1b) aus, in die anschließend anorganische Mineralsalze (hauptsächlich Calciumphosphat, mineralogisch Hydroxylapatit) eingelagert werden. Der erwachsene Knochen besteht zu ca. einem Drittel aus Collagen und ca. zwei Dritteln aus Mineralsalzen.

Die vollständige Durchdringung dieser beiden Komponenten ist die Grundvoraussetzung für die perfekte Kombination aus Elastizität und Stabilität und damit für die physikalischen Materialeigenschaften des Knochens. Laut Bucher & Wartenberg (1997, 395) liegt die Widerstandsfähigkeit von Knochen gegen Zug und Druck zwischen 981 – 1471 bar (= 98,1 – 147,1 N/mm²; zum Vergleich: Stahl 9807 – 14220 bar, Gusseisen 1177 – 7061 bar).

Die Verknöcherung (Ossifikation) findet zunächst im Schaftbereich (Diaphyse) und in den Gelenkbereichen (Epiphysen) unabhängig voneinander statt (Abb. 1a).

Abb.1 a



Wachstum eines Röhrenknochens (aus Schmid 1972, 74, Abb. 14)

b



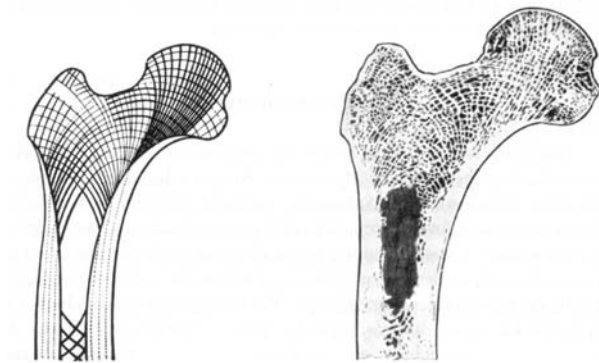
Schema einer Knochensäule (Osteon) aus dem Inneren des Knochengewebes; Collagenfasern unterschiedlicher Verlaufsrichtung sind in konzentrischen Lamellen um ein Blutgefäß (Haversscher Kanal) angeordnet (aus Löffler 1994, 71, Abb. 27)

Eine weitere Bedingung für die physikalischen Qualitäten des Knochens liegt in seiner Architektur. Eine Röhre weist physikalisch höhere Stabilität auf als ein Vollstab. Die Röhrenwand besteht aus dem Knochenmantel (Compacta), der sich zu den Gelenkenden hin zur dünnen Knochenrinde (Corticalis) verjüngt. Das Innere der Gelenkenden ist mit Schwammgewebe (Spongiosa) ausgefüllt (Abb. 2), welches entlang auf den Knochen einwirkender Zug- und Drucklinien ausgerichtet ist (Abb. 2a).

Die Spongiosastruktur kann im Laufe des Lebens je nach Entwicklung der einwirkenden Kräfte mehrfach umgestaltet werden. Der gesamte Knochen ist von einer nerven- und blutgefäßreichen Bindegewebsschicht (Periosteum) umgeben, die auch einen Schutz vor mechanischer Einwirkung bietet. Fazit: Bei der Skelettkonstruktion wird mit einem Minimum an Baumaterial ein Maximum an Leistung erzielt (Bucher & Wartenberg 1997, 129-140, 393-395; Czihak et al. 410-412; Löffler 1994, 69-81; Nickel et al. 1992, 13-26; Remane et al. 1985, 54-57).

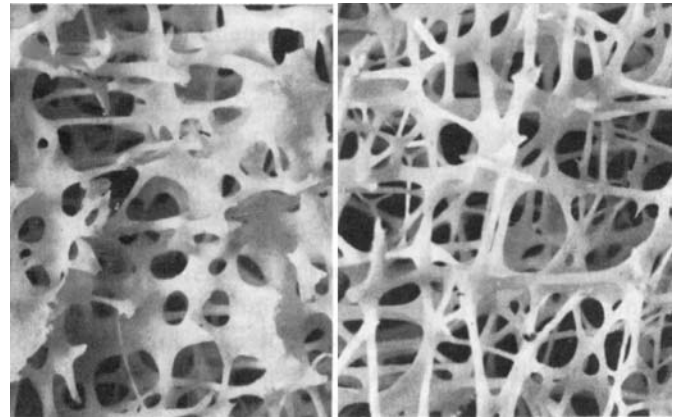
Abb.2 Knochenarchitektur

a



Längsschnitt durch den oberen Teil eines menschlichen Oberschenkels; im Inneren an Zug- und Drucklinien ausgerichtetes Schwammgewebe (Spongiosa), links schematisiert;

b



Spongiosaformen: links Blättchenspongiosa (Spongiosa lamellosa), rechts Bälkchenspongiosa (Spongiosa trabeculosa) (aus Nickel et al. 1985, 21, 25, Abb. 14-15, 18-19)

3. Forschungsgeschichte

Die intensive Phase der Forschungstätigkeit zum Thema Werkzeugspuren an Knochen begann in den 1950er Jahren auf dem Gebiet der Hominidenforschung. Der südafrikanische Forscher Raymond Dart postulierte die intentionelle Zurichtung von Knochen zu Werkzeugen durch Australopithecinen (Frühmenschen). Er ging soweit, dies zur Theorie einer "Osteodontokeratischen Kultur" zu erheben, derzufolge die Frühmenschen anstelle von Stein geräten Knochen und Zähne verwendeten (s. z. B. Dart 1949; 1958; 1961; 1962). In der Folgezeit gab es hierzu kontroverse Fachdiskussionen und zahlreiche Forschungsarbeiten. Letztlich konnten die von Dart als frühmenschliche Handlungen interpretierten "Werkzeugspuren" anderen Ursachen zugeordnet werden (für eine Zusammenfassung s. Brain 1981), dennoch gebührt ihm, die intensive Forschungstätigkeit in Gang gesetzt zu haben. In der Paläontologie setzten sich bereits im 19. Jahrhundert im Zuge der Erörterung bestimmter Fundlagen von Fossilien vereinzelte Arbeiten mit Spuren an Knochen auseinander (s. z. B. Buckland 1823). In den 1920er Jahren verdichtete Johannes Weigelt (1927 [1999]) diese Ansätze zur Fachrichtung der Biostratonomie. Isaac Efremov (1940) prägte schließlich das interdisziplinäre Fachgebiet der Taphonomie, bei dem es um alle Vorgänge geht, denen ein Körper vom Zeitpunkt des Todes an ausgesetzt ist. Hierunter fallen auch Werkzeugspuren an Knochen. Nicht genau determinieren konnte ich den Beginn der Forschung auf dem Gebiet der Pathologie und Forensik. Mir sind einige Arbeiten aus den 1960er Jahren bekannt (z. B. Brothwell & Sandison 1967; Wells 1965), man könnte auch mit Hans von Gersdorffs "Feldtbuch der Wundartzney" von 1528 beginnen, aber vermutlich liegen erste Ansätze hierzu ebenfalls im 19. Jahrhundert

4. Spurencharakteristika

In der heutigen deutschen forensischen Literatur zu Werkzeugspuren werden die Kategorien scharfe, halbscharfe, stumpfe und punktuelle Gewalt unterschieden (s. z. B. Berg et al. 1981, 44-57; Herrmann et al. 1990, 117; Verhoff & Kreutz 2003, 48; 2004, 425-426; Wirth & Strauch 2000, 69-182). Unter scharfe Gewalt fallen hiernach Spuren durch Messer, Schwert, Bajonett, Schere, Pfeil oder Glas. Halbscharfe Gewalt beinhaltet Spuren durch Axt, Beil, Sichel, Sense, Hacke, Schraubenzieher oder Säge. Stumpfe Gewalt umfasst Spuren durch nicht scharfkantige Gegenstände wie Hammer, Keule oder Stein, punktuelle Gewalt Spuren durch Lanze, Pfeil, Kugel oder Dolch. Ich finde diese Kategorien nicht ganz glücklich, weil sie von dem verursachenden Tatwerkzeug ausgehen. Dieses liegt jedoch bei der Untersuchung von Spuren an Knochen zumeist nicht vor¹ und ein direkter Rückschluss von der Spur auf das verursachende Werkzeug ist nur bedingt möglich. Die Einteilung berücksichtigt weiterhin weder mögliche unterschiedliche Schärfegrade noch unterschiedliche Handhabungsmöglichkeiten des gleichen Werkzeugtyps (z. B. Schnitt oder Stich mit Messer). Erkennbar ist an einer vorliegenden Spur zunächst die ungefähre Form des einwirkenden Werkzeuges und zwar nur des auf den Knochen auftreffenden Werkzeugteiles. Ein Rückschluss auf die Gesamtform des Werkzeuges ist nicht möglich, wie später anhand eines konkreten Beispiels gezeigt werden wird. Unter günstigen Umständen kann sich außerdem die Einwirkungsrichtung abbilden. Ich verwende daher die in der Taphonomie gebräuchlichen funktionalen Kategorien Schnitt-, Hieb-, Schlag-, Säge-, Schabespur, Bohrung und Projektileinschlag / Stich. Diese Kategorien leiten sich von der Art der Einwirkung (Form und Richtung der Spur) ab. Die Gesamtform des Werkzeuges ist zunächst zweitrangig, die Gefahr von Überinterpretationen wird verringert. Zur Verdeutlichung der im Folgenden verwendeten Begriffe sind diese in Abbildung 3 grafisch dargestellt. Eine Zusammenfassung der Spureigenschaften gibt Tabelle 1.

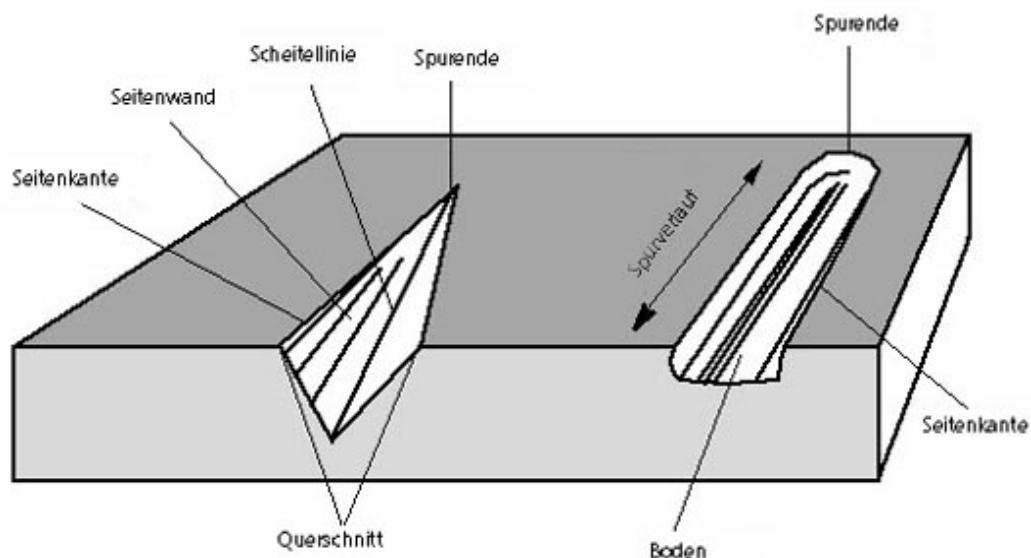


Abb. 3: Bezeichnungen von Spuren an Knochen (aus Küchelmann 1997, 24, Abb. 11)

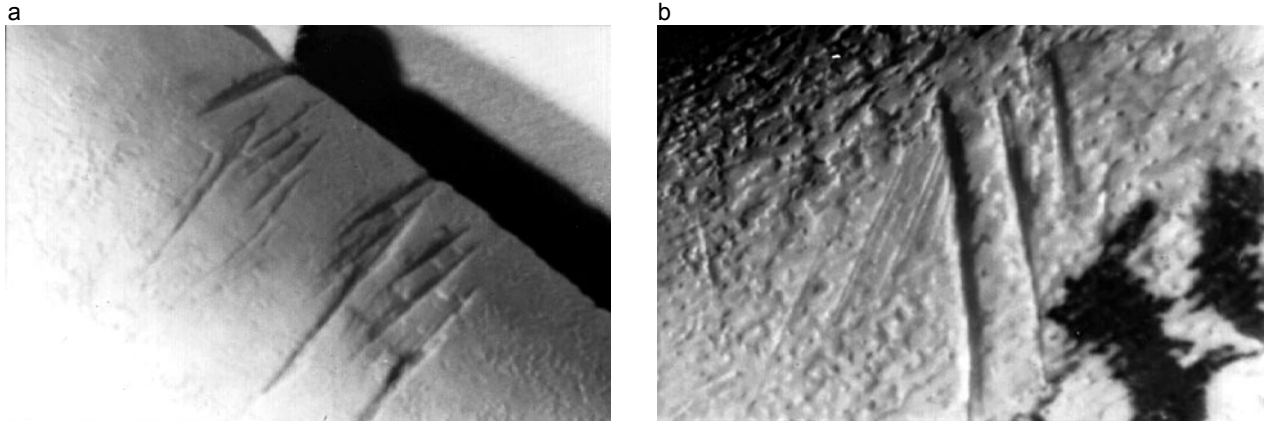
¹ Fälle, wie z. B. bei der Untersuchung der Massengräber des Völkermordes in Ruanda, bei dem die Täter ihre Opfer mit Macheten töteten, von denen einige am Tatort gefunden wurden (Koff 2004, 27-105), sind eher die Ausnahme.

4.1 Schnittspuren

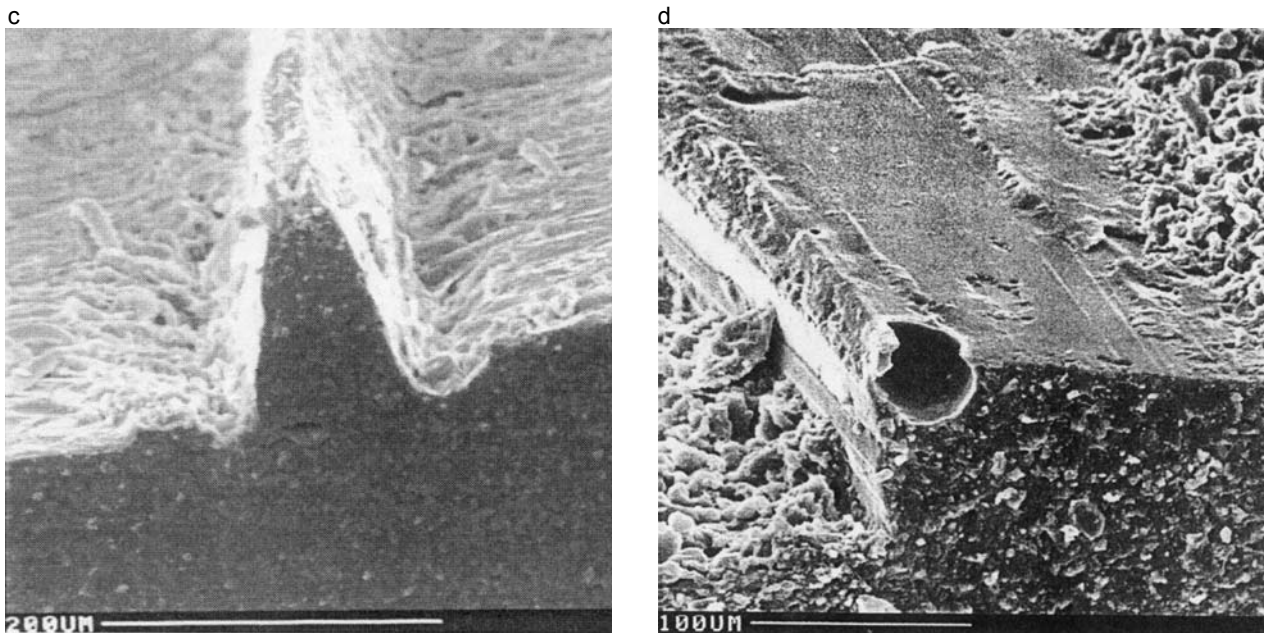
Schnittspuren entstehen bei der Führung eines scharfkantigen, spitzwinkligen Werkzeuges (Klinge) in dessen Längsrichtung über den Knochen. Die resultierenden Spuren verlaufen gerade oder leicht gebogen. Der Querschnitt ist mit bloßem Auge betrachtet V-förmig, mikroskopisch kann die exakte Form hiervon abweichen. Die Seitenkanten sind annähernd parallel und können unterschiedlich geneigt sein. Die Spurenden laufen oft spitz zu, die Oberfläche des Knochens ist entfernt (Abb. 4). Diagnostisch sind mikroskopisch feine parallele Riefen in der Seitenwand in Verlaufsrichtung, die durch Unregelmäßigkeiten in der Klingenkante oder beim Schneidevorgang mitgeführte Partikel entstehen (Abb. 4d).

Beim An- und Absetzen der Klinge können sogenannte "Widerhaken" auftreten (Abb. 4b) (Berg et al. 1981, 129-130; Binford 1981, 105-142; Boylston 2000, 361; Bunn 1981; Cavallo et al. 1991, 132-145; Greenfield 1999; 2000; 2002a; 2002b; Hermann et al. 1990, 117-123; Hönsch 2005, 39-40; Küchelmann 1997, 137-139; 2005b, 592; Lyman 1994, 303-315; Potts & Shipman 1981; Roberts & Manchester 1997, 85-86; Shipman 1981, 108-109; Shipman et al. 1981; Shipman & Rose 1983; von den Driesch & Boessneck 1975).

Abb. 4: Schnittspuren an Knochen



a-b) Tierknochen, Art unbestimmt, Jordanien, Bronzezeit; b mit Widerhaken; a x 6, b x 12 (aus Küchelmann 1997, 138, Abb. 91b, d)



c-d) rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Abgüssen von Schnittspuren

modernes Metallmesser, x 200 (aus Greenfield 2002b, 438, fig. 3);

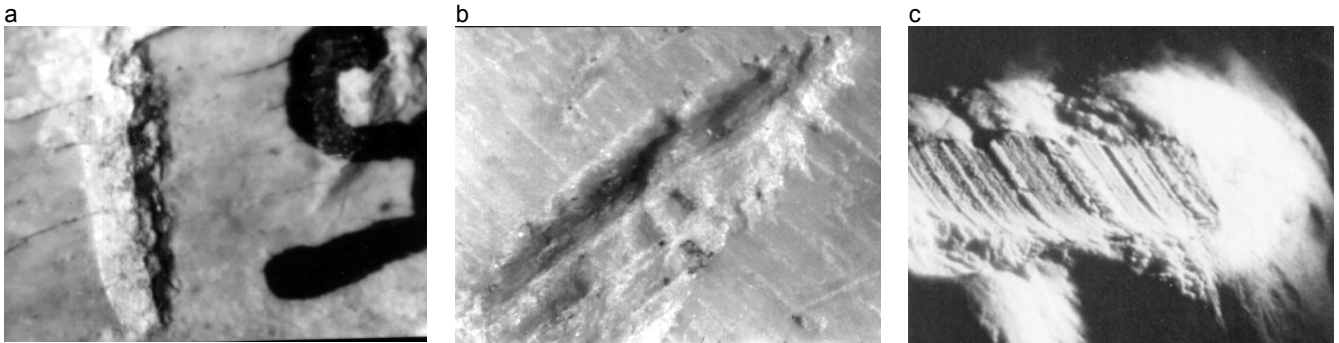
Obsidianklinge, x 272 (aus Greenfield 2002a, 46, fig. 9)

4.2 Hiebspuren

Hiebspuren entstehen beim Auftreffen einer Klinge von oben auf die Knochenoberfläche. Die resultierenden Spuren sind gerade, da es sich um das Abbild eines einmaligen kurzzeitigen Ereignisses handelt. Der Querschnitt ist ebenfalls makroskopisch V-förmig, jedoch meist gröber als bei Schnittspuren (Abb. 5a-b). Beim Auftreffen in einem nicht rechten Winkel entstehen unterschiedlich ausgeprägte Seitenkanten und -wände.

Die der Einwirkungsrichtung zugewandte Seitenkante ist gerade, die abgewandte unregelmäßig und bisweilen wulstartig aufgeworfen. Die zugewandte Seitenwand ist plan, die abgewandte brüchig und unregelmäßig (Abb. 5a-b). In den Seitenwänden können Rillen, Riefen oder Versätze auftreten, die von der Seitenkante in Richtung Scheitellinie verlaufen (Abb. 5c).

Abb. 5: Hiebspuren an Knochen



a
plane gegenüber unregelmäßiger
Seitenwand; unbestimmte Tierart,
Jordanien, Bronzezeit x 12;

b
mit wulstartiger Aufwerfung, Schaf oder
Ziege, Schienbein, x 25 (a + b aus
Küchelmann 1997, 140, Abb. 93b, d)

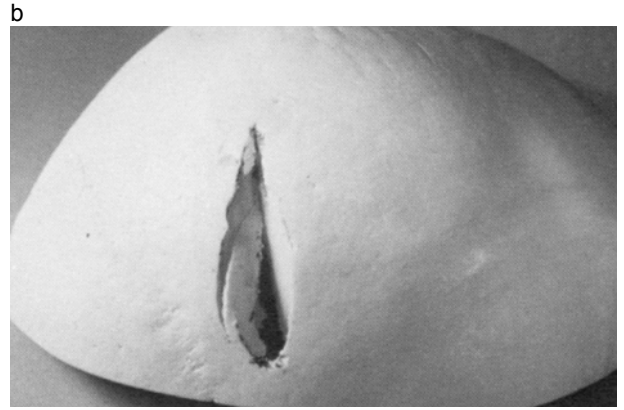
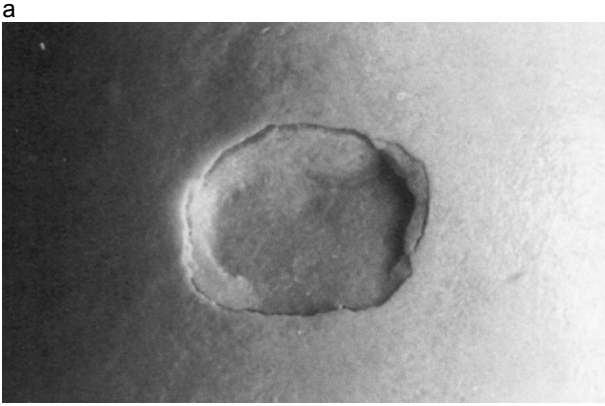
c
Riefen in der Trennfläche eines Beilhiebes,
menschlicher Schädel, Institut für
Rechtsmedizin Göttingen (aus Berg et al.
1981, 54, Abb. 59)

Die Oberfläche ist eingedrückt, häufig sind Bruchschollen und von der Einwirkungsstelle ausgehende Fissuren erkennbar (Abb. 15, 16b). Wird der Knochen vollständig durchtrennt, entstehen eine plane und eine unregelmäßige Trennfläche (Bennike & Brade 1999, 51-52; Berg et al. 1981, 49-57, 128; Binford 1981, 142-147; Boylston 2000, 361, 369, 373; Hermann et al. 1990, 118-123; Hönsch 2005, 42; Küchelmann 1997, 139-141; 2005a; 2005b, 592-593; 2005c; Lyman 1994, 303-315; Potts & Shipman 1981, 577; Roberts & Manchester 1997, 82-83; Shipman 1981, 110, 173-174, 199; Wells 1965, 264, pl. 20).

4.3 Schlagspuren

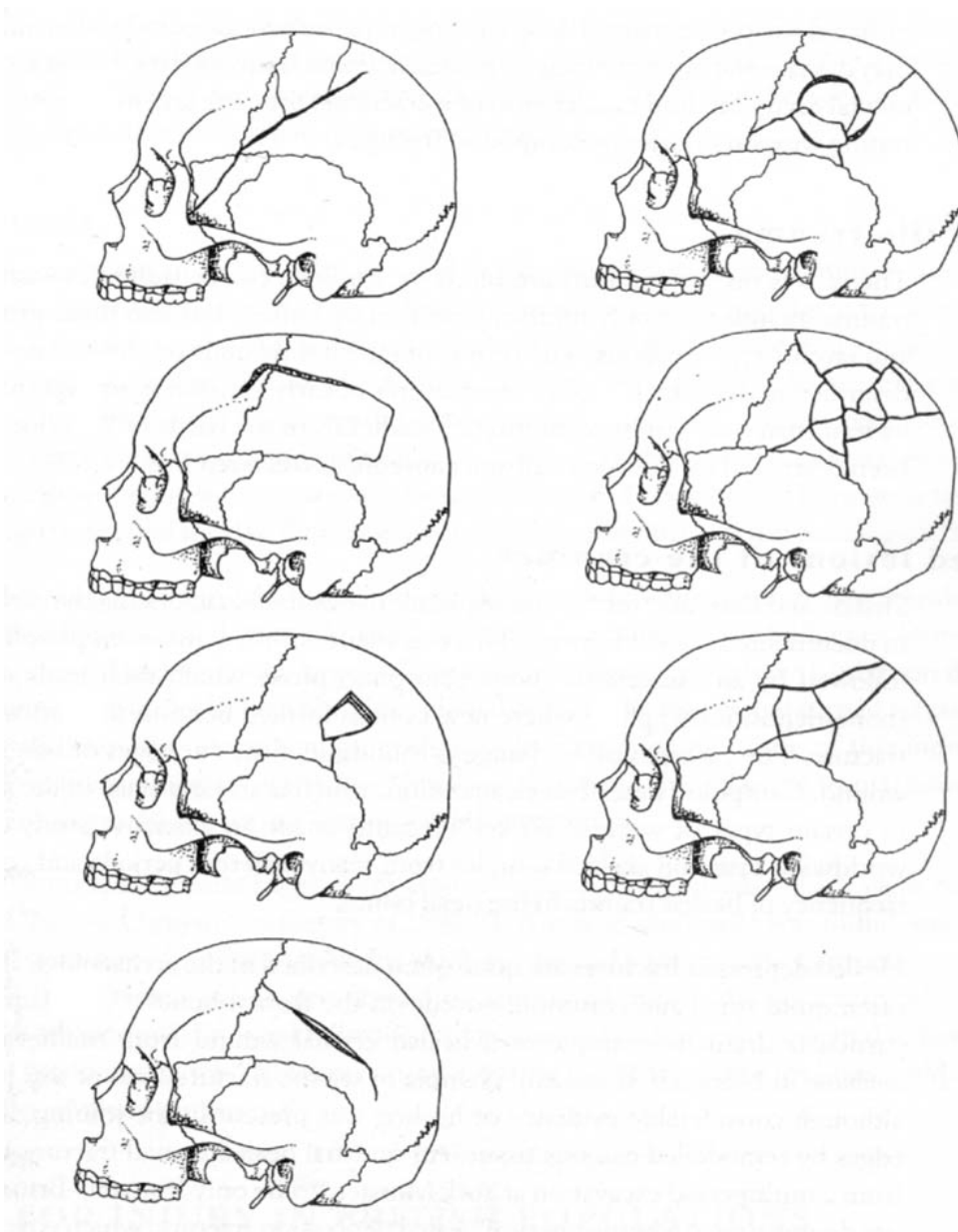
Beim Auftreffen eines stumpfen Gegenstandes von oben auf die Knochenoberfläche bilden sich Schlagspuren ab. Hierbei handelt es sich in der Regel um Depressionsfrakturen mit eingedrückter Oberfläche (Abb. 6). Die Form der Spur ist unspezifisch und abhängig vom verwendeten Werkzeug. Die Untersuchung der Bruchmuster erlaubt Rückschlüsse auf die Art der Krafteinwirkung. Bei multiplen Schlägen, lässt sich die Reihenfolge bestimmen. Am Schädel können aufgrund der Kugelform komplizierte Bruchmuster durch resultierende Kräfte an dem Einschlag entfernter Stelle entstehen (Abb. 6c) (Berg et al. 1981, 44-49; Binford 1981, 148-166; Blumenschine & Selvaggio 1988; Boylston 2000, 361-364; Herrmann et al. 1990, 121-127; Hönsch 2005, 42-48; Roberts & Manchester 1997, 79-82; Villa & Mahieu 1991).

Abb. 6: Schlagspuren an Knochen



a-b einfache Depressionsfrakturen durch Schlag mit Hammer (a) und Wagenheber (b),
Institut für Rechtsmedizin Göttingen, menschlicher Schädel (aus Berg et al. 1981, 48, Abb. 44-45)

c



unterschiedliche Typen von Bruchmustern am Schädel (aus Boylston 2000, 363, Abb. 4)

4.4 Sägespuren

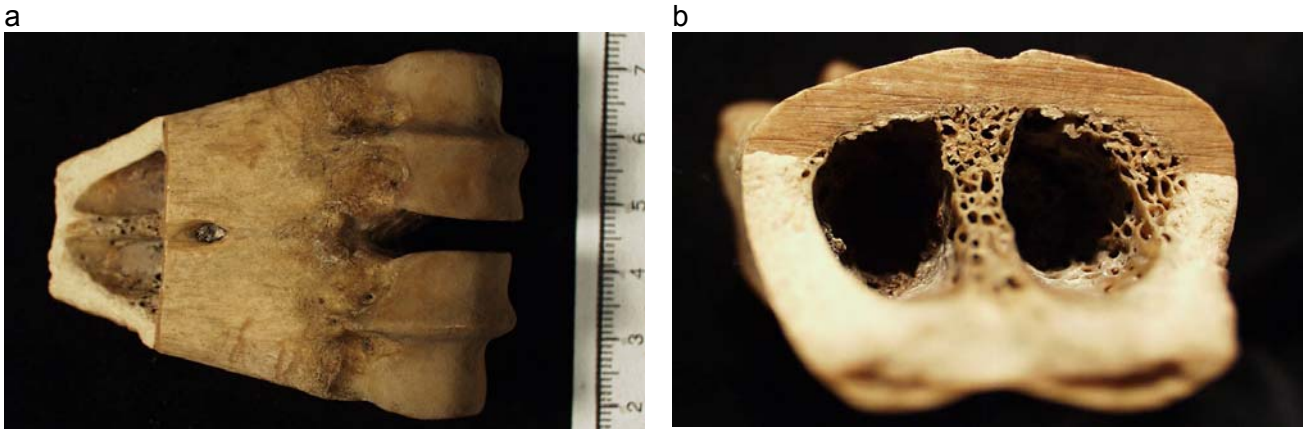
Durch multiples Hin- und Herbewegen eines Werkzeuges auf der und in die Knochenoberfläche entstehen Sägespuren. Diese sind im Querschnitt annähernd U-förmig, der Spurverlauf ist gerade, das Knochenmaterial ist entfernt (Abb. 7). Die Seitenkante ist gerade oder leicht wellenförmig, diagnostisch sind multiple subparallele Riefen in der Seitenwand (Abb. 7b, c, g).

Sägespuren können mit verschiedenen Werkzeugen erzeugt werden. Parallelseitige Metallblätter mit gezähnter Arbeitskante sind die typischen Spurenverursacher, aber auch Klingen oder gespannte (Draht-)seile können Sägespuren hervorrufen.

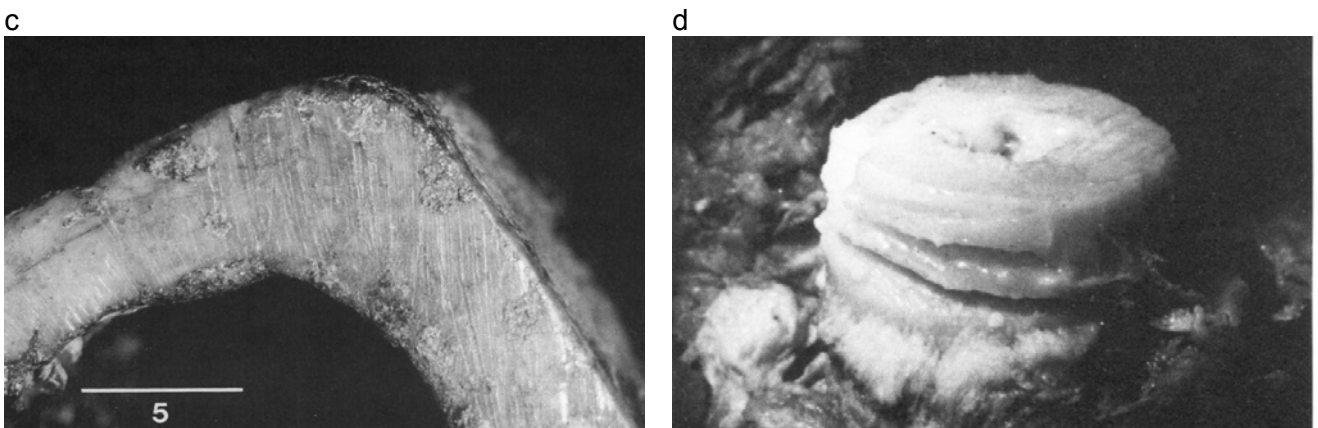
Eine moderne Sonderform sind Kreissägen, bei denen der Vortrieb durch Rotation statt durch Vor- und Zurückbewegen erzeugt wird. Optional können Stege im Spurboden erhalten bleiben, deren Vermessung Hinweise auf die Zahnteilung der Säge erlaubt (Abb. 7e-g).

Besonders aufschlussreich sind hierbei multiple Sägeschnitte (Abb. 7d). Bei vollständiger Durchtrennung verbleibt oft ein Grat an der Abtrennungsstelle (Abb. 7a) (Bennike & Brade 1999, 45-49; Berg et al. 1981, 130-131; Herrmann et al. 1990, 122-123; Hönsch 2005, 40-41; Küchelmann 2005, 9-10).

Abb. 7: Sägespuren an Knochen



a-b) Abfall eines Knochenhandwerkers; Rind, Mittelfußknochen, Bremen, Böttcherstr., Mittelalter (Fotos: Küchelmann)



c) Amputationsstumpf; menschliches Schienbein, Lübeck, frühneuzeitlich (aus Herrmann et al. 1990, 122, Abb. 3.2.5.7)

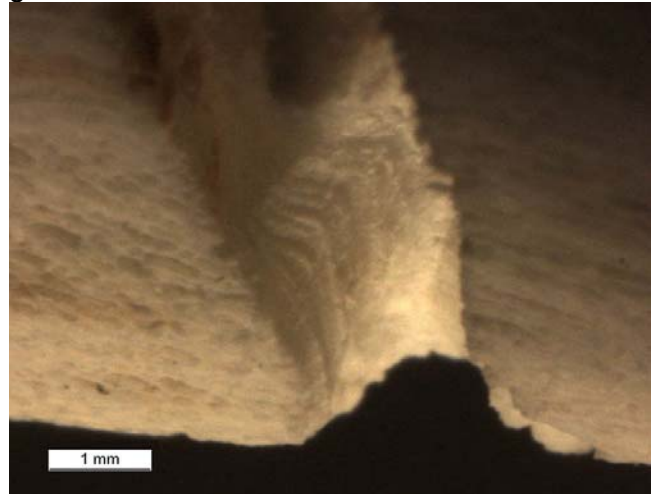
d) multiple Sägeschnitte, Mordfall; menschlicher Oberschenkel, Mittellandkanal (aus Berg et al. 1981, 130, Abb. 128)

Abb. 7: Sägespuren an Knochen

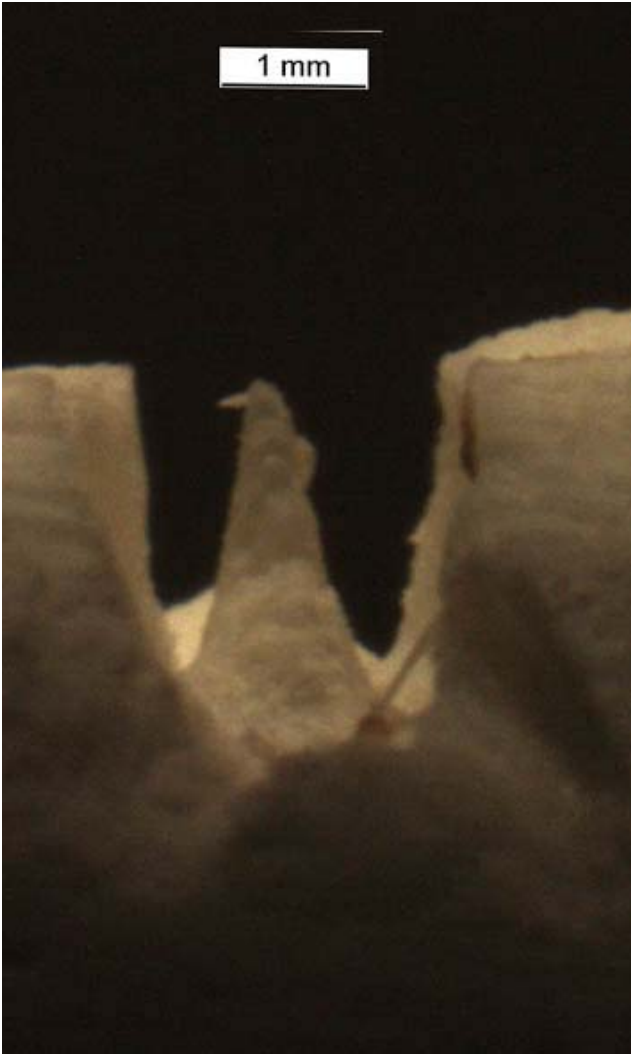
e



g



f



e-g) experimentelle Sägeschnitte, grobe stark geschränkte
Holzsäge (Zahnteilung 5,0 mm, Blattstärke 1,0 mm, Spurbreite 2,2
– 2,4 mm), Schwein, Oberschenkel

(aus Küchelmann 2005c, 9, Abb. 7; Fotos: Braune, LKA Bremen)

4.5 Schabespuren

Wird eine Klinge quer zu ihrer Längsrichtung über die Knochenoberfläche bewegt, entstehen durch eine einzige Handlung multiple feine parallele Rillen. Die Spuren sind meist parallel oder schräg zur Knochenlängsachse ausgerichtet (Abb. 8) (Blumenschine & Selvaggio 1988, 763; Küchelmann 2005, 141-142; Potts & Shipman 1981, 577-579; Shipman & Rose 1983, 84-87).

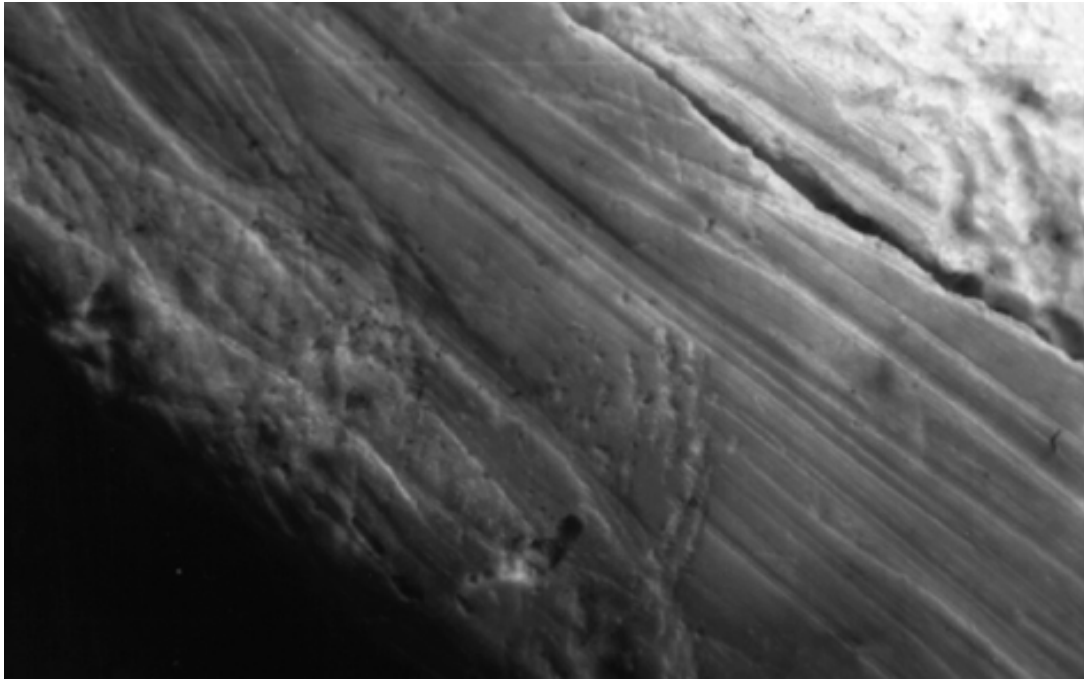


Abb. 8: Schabespuren; Ziege, Oberarmknochen, Jordanien, Bronzezeit (aus Küchelmann 2005, 142, Abb. 94a)

4.6 Bohrungen

Durch rotierenden Vortrieb eines mehr oder weniger spitzen Werkzeuges auf der und in die Knochenoberfläche entsteht ein konischer oder zylindrischer Bohrkanal (Abb. 9), an dessen Wand sich subparallele Riefen als Resultat der Drehbewegung erhalten. Das Knochenmaterial wird durch die Rotation entfernt. Die Eintrittsstelle ist meist regelmäßig, die Austrittsöffnung kann leicht ausgebrochen sein.

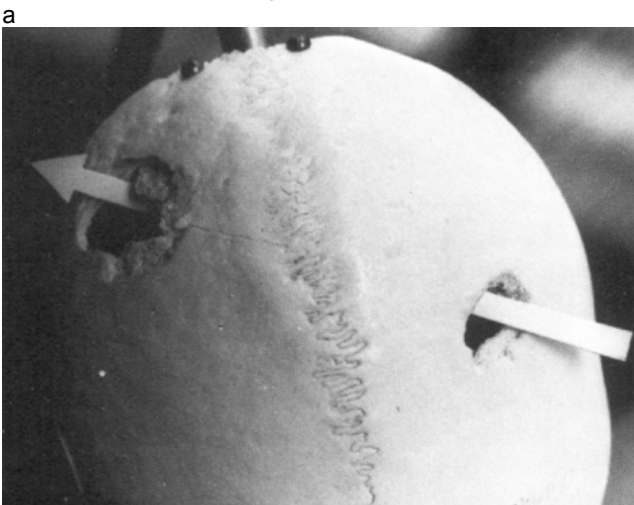


Abb. 9: Bohrung in Rothirschgeweih, steinzeitliche Axt, Kreis Verden; das Geweihstück wurde von zwei Seiten angebohrt, was sich in einem leichten Versatz der beiden Bohrkanäle widerspiegelt (Foto: Küchelmann)

4.7 Projektileinschläge / Stiche

Projektileinschläge und Stichspuren sind funktional schwer voneinander zu trennen. Der Unterschied besteht lediglich in der Art der Werkzeugführung: Beim Stich wird das Werkzeug direkt geführt, beim Projektil wird es durch eine mechanische Abwurfvorrichtung geschleudert. In beiden Fällen trifft ein mehr oder weniger spitzer Gegenstand punktuell von oben auf die Knochenoberfläche auf. Bei leichter Einwirkung entstehen annähernd kegelförmige Einkerbungen mit eingedrückter Knochenoberfläche, bei vollständiger Durchtrennung können Knochenpartien ausgestanzt oder ausgesprengt werden. In jedem Fall ist die Eintrittsöffnung kleiner und regelmäßiger geformt als die Austrittsöffnung (Abb. 10). Die Form der Öffnungen lässt Rückschlüsse auf den Auftreffwinkel und bedingt auf Projektilart und -größe zu (Berg et al. 1981, 54-57; Boylston 2000, 364-365; Herrmann et al. 1990, 120-121; Hönsch 2005, 48-50; Noe-Nygaard 1975; Roberts & Manchester 1997, 83; Stodiek & Paulsen 1996; Wells 1965, 47-50, 264, pl. 18-19).

Abb. 10: Spuren durch Projektile an Knochen



Verletzung durch Wurf eines eisernen Straßenbegrenzungspfahles, menschlicher Schädel, Institut für Rechtsmedizin Göttingen (aus Berg et al. 1981, 56, Abb. 66)



Schussverletzung, Austrittsöffnung, menschliches Becken, Mannheim, archäologischer Fund (aus Berg et al. 1981, 57, Abb. 67)



Einschuss einer Flintpfeilspitze in menschlichen Lendenwirbel, Grotte de la Tourasse, Frankreich, neolithisch (aus Wells 1965, pl. 19)



Einschuss einer Pfeilspitze aus Geweih in Brustwirbel, Damhirsch (aus Stodiek & Paulsen 1996, 35, Abb. 35)

Tab. 1: Eigenschaften verschiedener Spurentypen

Spurart	Verlauf	Querschnitt	Seitenkanten	Seitenwände	Spurende n	Knochen- oberfläche	Ausrichtung zur Knochen- achse	weitere Eigenschaften
Schnitt	gerade oder leicht gebogen	makroskopisch V-förmig	annähernd parallel	parallele Riefen in Spur-richtung, optional unter-schiedliche Neigung	oft spitz, optional "Widerhak en"	entfernt	quer oder schräg	
Hieb	gerade	makroskopisch V-förmig	gerade vs. unregelmäßig, optional einseitig aufgewölbt	oft plan vs. unregel- mäßig, Rillen + Versatz-kanten von Seitenkante zur Scheitellinie	oft spitz	eingedrückt	quer oder schräg	häufig Bruchschol- len, optional aus- strahlende Fissuren
Schlag	unspezifisc h	unspezifisch	unspezifisch	unspezifisch	–	eingedrückt	unspezifisch	Depressionsfraktur, häufig Bruchschol- len, Bruchmuster
Sägen	gerade	U-förmig	parallel, gerade oder leicht wellig	parallel gerade oder leicht wellig, subparallele Riefen	rechtwinkl ig	entfernt	quer oder schräg	optional Stege am Spurboden, Grate
Bohrung	punktuell	U-förmig	kreisförmig, Eintritt glatt, Austritt ausgebrochen	konisch oder zylindrisch, subkonzentrische, subparallele Riefen	–	entfernt	unspezifisch	
Projekttil / Stich	punktuell	V- oder U- förmig	unspezifisch	unregelmäßig, brüchig	–	eingedrückt, ausgestanzt, ausgesprengt	unspezifisch	
Schaben	gerade oder leicht wellig	flach, multiple parallele Rillen	–	–	–	entfernt	längs, schräg	

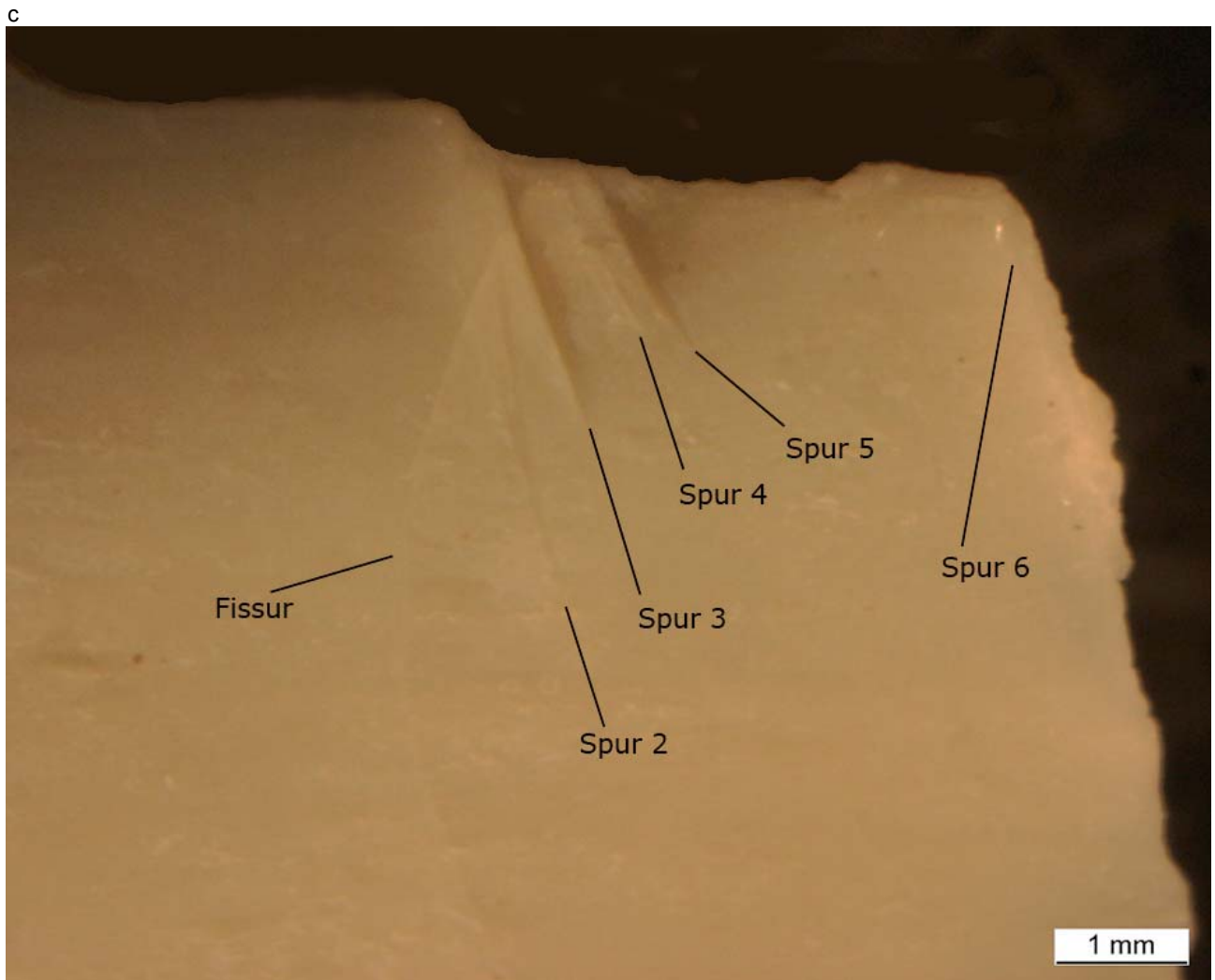
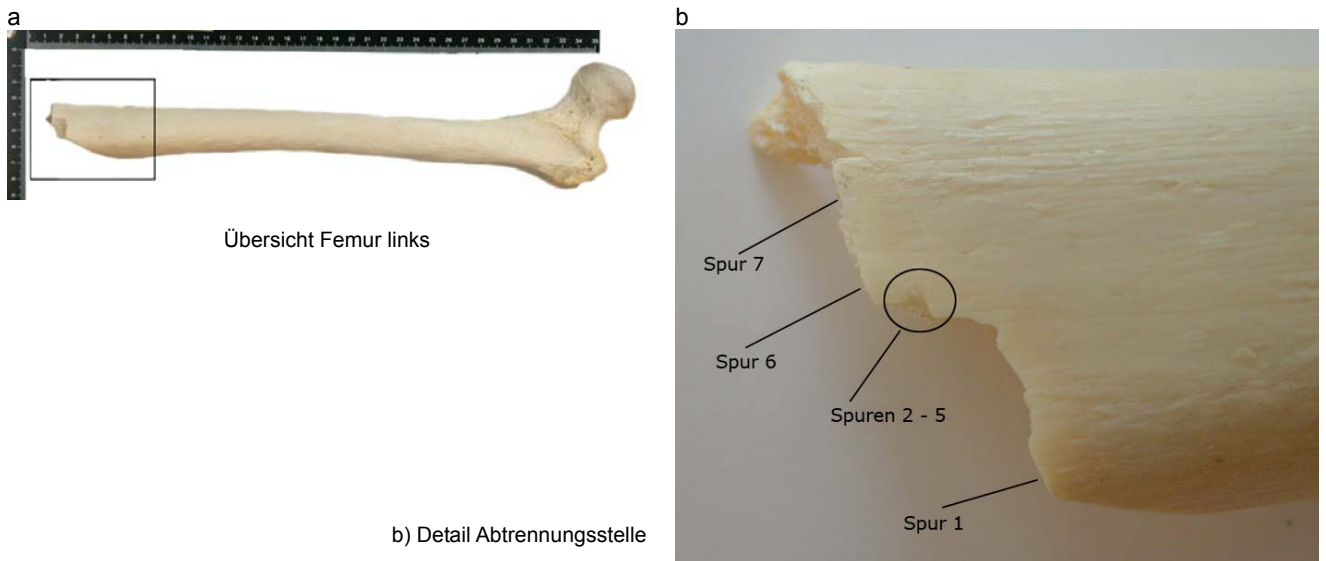
Über die separate Spur hinaus können übergreifende Merkmale untersucht werden, wie Anzahl der Spuren, genaue Lokalisation am Knochen oder Ausrichtung der Spur in Bezug auf den Knochen. Der Vergleich dieser Merkmale kann neben der Häufigkeit der einzelnen Handlungen Hinweise darauf geben, ob unterschiedliche Handlungsarten durchgeführt wurden, welches Ziel die Handlung hatte (z. B. Enthäuten, Abtrennung von Körperteilen), welche Position die ausführende Person zum Körper einnahm, welche Hand benutzt wurde, etc. (Binford 1981, 105-142; Ewersen 2001, 36-41; von den Driesch & Boessneck 1975).

5. Analyse von Werkzeugspuren in einem Mordfall

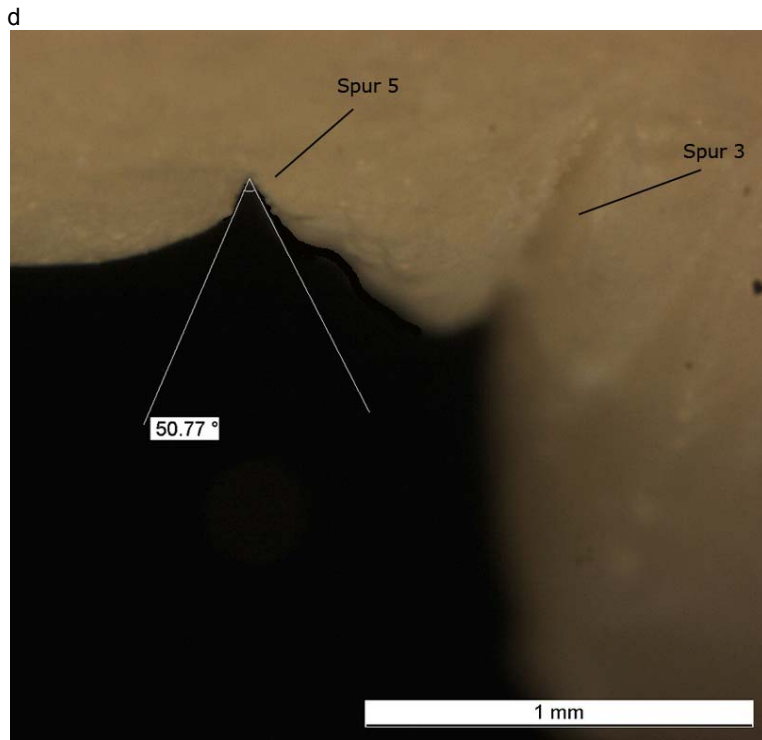
Im September 2004 wurde in Bremen der Torso einer Frauenleiche aufgefunden. Kopf und Unterschenkel waren abgetrennt und wurden bis dato nicht gefunden. An den Abtrennungsstellen konnten insgesamt 19 einzelne Werkzeugspuren festgestellt werden, von denen neun am linken Oberschenkel (Femur) (Abb. 11, 17c-d), vier am rechten Femur, drei am 6. Halswirbel (Abb. 12a-b), zwei am 7. Halswirbel (Abb. 12a, c), und eine am 1. Brustwirbel (Abb. 12a, d) lokalisiert waren. In sechs Fällen ließ sich anhand des Spurquerschnittes ein spitzwinkliger, klingentypischer Gegenstand als verursachendes Werkzeug belegen (Abb. 11c-d, 12d), in 14 Fällen konnte durch Fissuren, Riefen, Bruchschollen oder Trennflächen die Einwirkungsrichtung als Hiebeeinwirkung definiert werden (Abb. 11c, e, 12b-d).

Die Spuren auf den Femora verteilten sich auf einen Bereich von 25 bzw. 10 mm. Alle in ihrer Lokalisation und Orientierung am Körper bewertbaren Spuren befanden sich auf der Vorderseite des Körpers. Die Rückseite der Femora wies Bruchspuren ohne direkte Werkzeugeinwirkung auf. Mehrere kleine Fragmente ließen sich zu größeren Einheiten zusammensetzen (Abb. 17c-d). Die Neigungswinkel der Spuren an den Oberschenkeln waren sowohl in Bezug auf die Knochenlängsachse als auch in Bezug auf die Knochenoberfläche am linken und rechten Femur gegenläufig. Es sprachen keine Merkmale gegen die Annahme, dass alle Spuren mit dem selben Werkzeug erzeugt wurden, zweifelsfrei belegen ließ sich dies jedoch nicht. Die Riefenmuster an den Trennflächen der Spuren 6 (Abb. 11e) und 10 wiesen nur eine Länge von wenigen Millimetern auf, so dass eine zweifelsfreie Zuordnung zu einem spezifischen Werkzeug auch hierdurch nicht möglich wäre (Küchelmann 2005a).

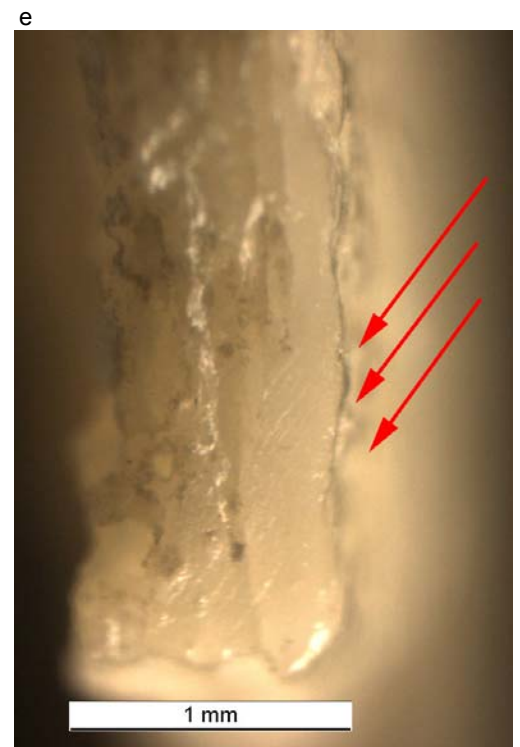
Abb. 11: Werkzeugspuren am linken Femur des Mordopfers aus Bremen



Spuren 1 – 6
(aus Küchelmann 2005a; Fotos: Braune, LKA Bremen)



Spuren 5 und 3



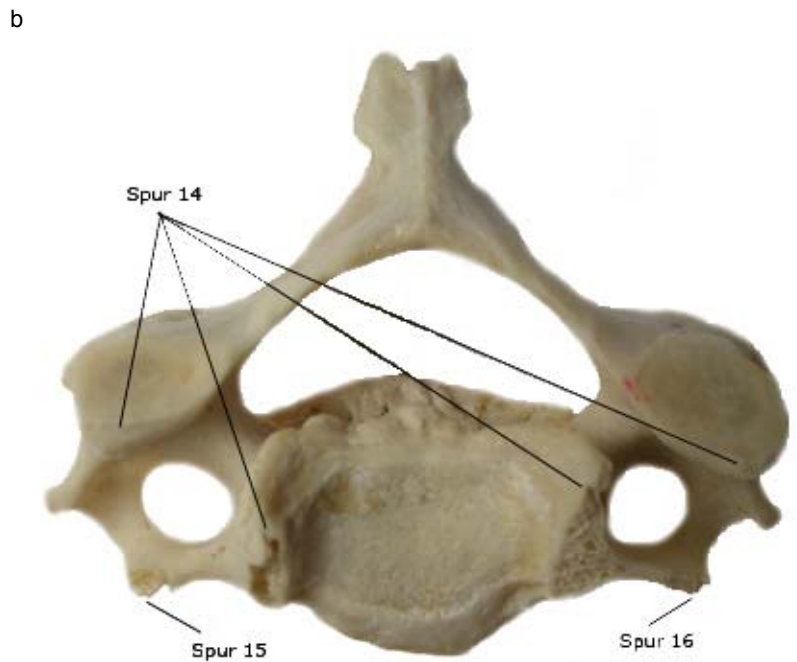
Spur 6 mit von der Oberfläche zum Knocheninneren verlaufenden feinen parallelen Riefen in der Trennfläche

(aus Küchelmann 2005a; Fotos: Braune, LKA Bremen)

Abb. 12: Werkzeugspuren an den Wirbeln des Mordopfers aus Bremen

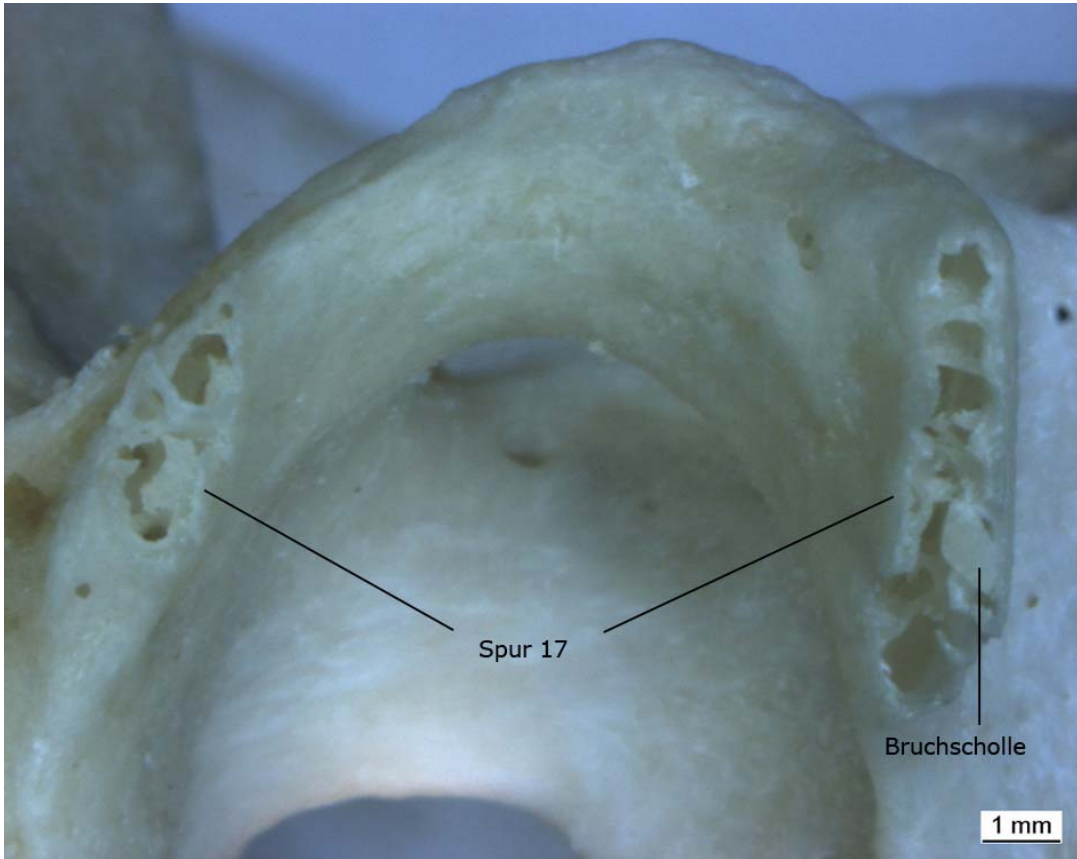


Übersicht Halswirbel VI – VII und Brustwirbel I



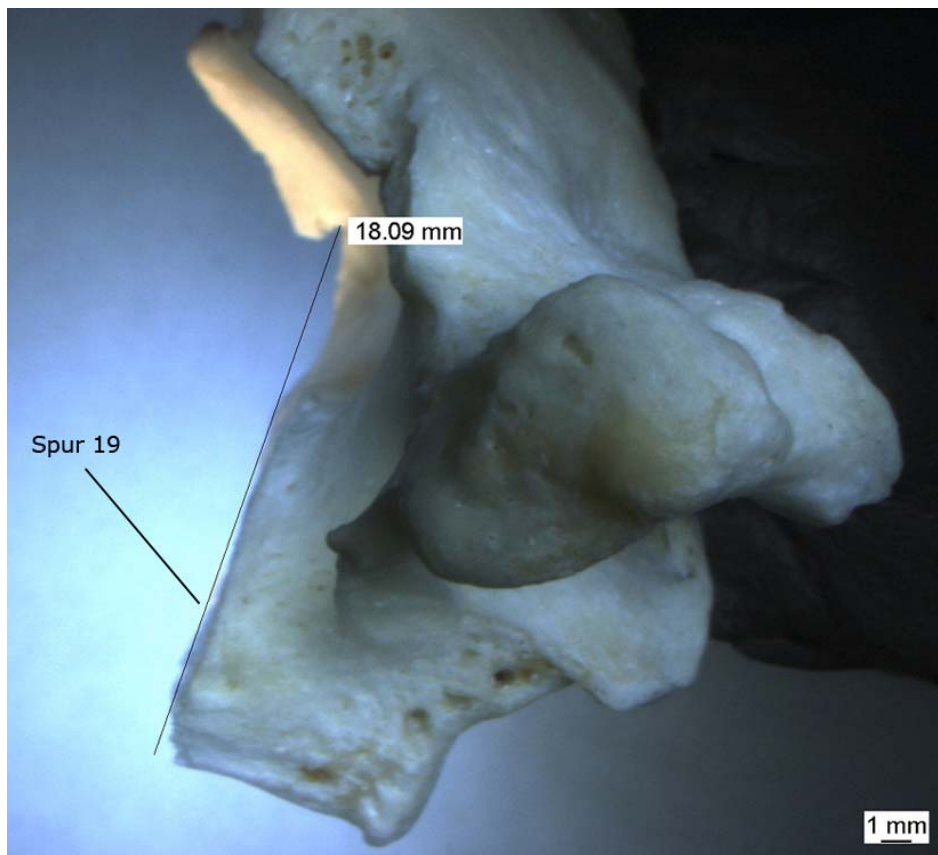
Halswirbel VI mit Spuren 14 – 16

c



Halswirbel VII mit Spur 17

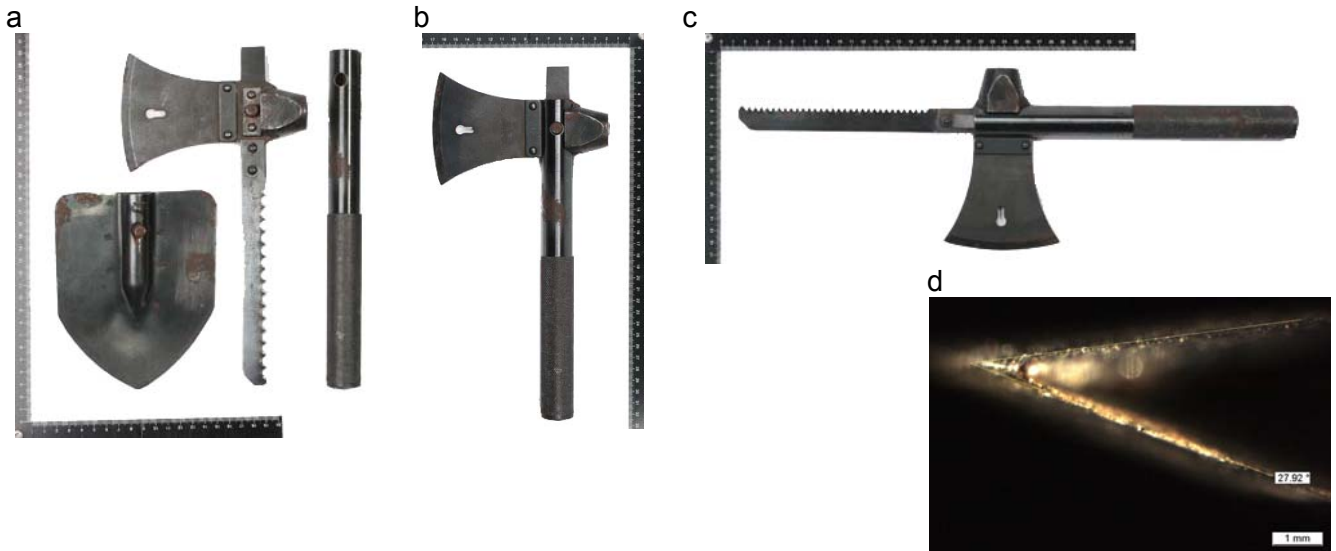
d



Brustwirbel I mit Spur 19 (aus Küchelmann 2005a; Fotos: Braune, LKA Bremen)

Im Verlaufe der Gerichtsverhandlung ergab sich ein Verdachtsmoment auf ein Tatwerkzeug. Das in Frage stehende Werkzeug selbst lag nicht vor, aber an einem baugleichen Objekt konnte eine Untersuchung durchgeführt werden. Bei dem Objekt handelte es sich um ein russisches Multifunktionswerkzeug, dessen einzelne Teile zu einem Beil, einem Stecheisen, einer Schaufel, einer Säge und einem Hammer kombiniert werden können (Abb. 13).

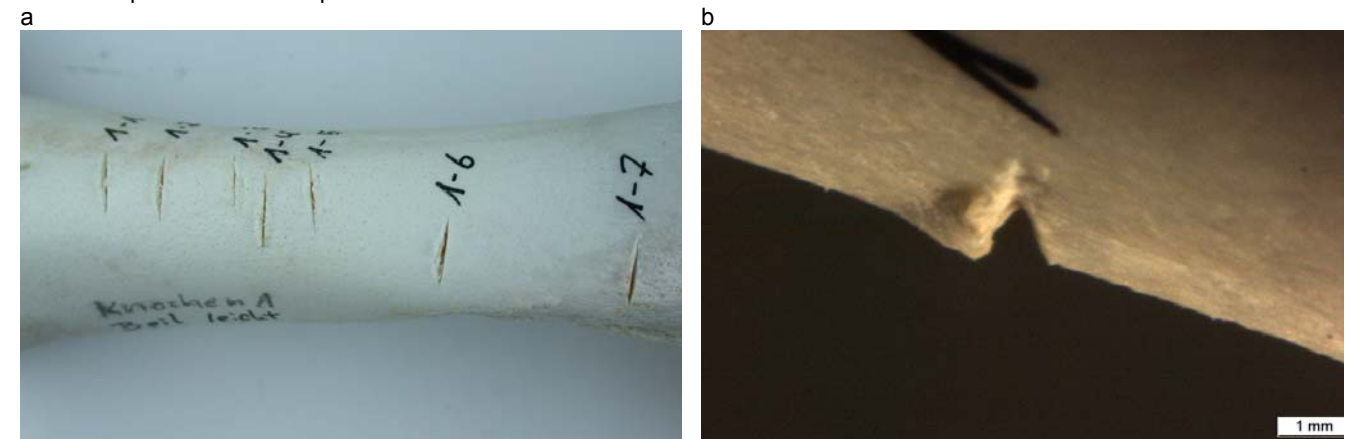
Abb. 13: Untersuchtes Multifunktionswerkzeug



a) – c) Untersuchtes Multifunktionswerkzeug d) Winkel der Beilklinge (aus Küchelmann 2005c; Fotos: Silberzahn, LKA Bremen)

Ziel war die Beantwortung der Frage, ob die Spuren an den Knochen des Opfers mit einem derartigen Werkzeug erzeugt worden sein können. Zum Vergleich des Spurenbildes des Multifunktionswerkzeuges mit den Spuren an den Knochen des Opfers wurden mit den verschiedenen Werkzeugkomponenten Spuren an Oberschenkelknochen juveniler Hausschweine erzeugt. Die frisch ausgelösten Knochen waren mit Resten von Muskeln und Sehnen umgeben. Für die Versuche wurden die Knochen in Arbeitshöhe (0,88 m) quer vor dem Ausführenden auf einer Werkbank platziert. Von jeder Werkzeugkomponente wurden zwei verschiedene Arten von Spuren erzeugt.

Abb. 14: Experimentelle Beilspuren



Experimentelle Beilspuren, leichte Hiebe: V-förmige Kerben, aufgeworfene Seitenkante, unterschiedlich ausgeprägte Seitenwände (aus Küchelmann 2005c; Fotos: Braune, LKA Bremen)

Bei "leichten Hieben" wurde das Werkzeug geführt, ohne zusätzliche Muskelkraft aufzuwenden, die Spur kam also nur durch das Eigengewicht des Werkzeuges zustande. Bei "schweren Hieben" wurde das Werkzeug mit starker Anwendung von Muskelkraft auf den Knochen geführt.

Im Falle des Stecheisens wurde zusätzlich mit einem 500 g Hammer wiederholt auf das Griffende geschlagen.

Nach der Mazeration der Knochen zeigte sich, dass alle Spuren die oben genannten typischen Charakteristika von Hiebspuren aufwiesen (mit Ausnahme von Säge und Hammer). Bei leichten Hieben waren dies V-förmige Einkerbung, aufgeworfene Seitenkante, glatte gegenüber unregelmäßiger Seitenwand (Abb. 14).

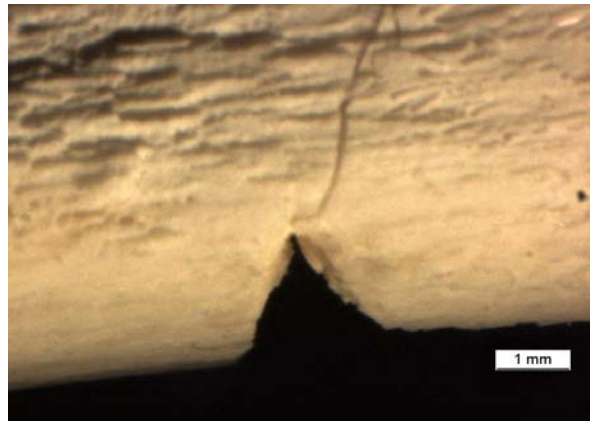
Wenn die Klinge exakt senkrecht auf die Oberfläche auftraf, konnten beide Seitenwände gleich gestaltet sein. Während die leichten Hiebe von Beil, Stecheisen und Schaufel sehr ähnliche Charakteristika aufwiesen, waren die schweren Hiebe deutlich voneinander zu unterscheiden. Schwere Hiebe mit dem Beil verursachten Einkerbungen mit eingedrückten Bruchschollen, Fissuren am Spurende und Riefen in Einwirkungsrichtung oder durchtrennten den Knochen vollständig (Abb. 15). Bei Kontinuitätstrennung entstanden plane Trennflächen mit einem resultierenden, durch die Keilwirkung der Klinge hervorgerufenen Bruch (Abb. 15c). Die Eindringtiefe der Klinge lag im Schaftbereich bei 20 – 40 % des Durchmessers. Die Oberflächen der Trennflächen einer Spur waren unterschiedlich ausgeprägt und belegten die Einwirkungsrichtung.

Abb. 15: Experimentelle Beilspuren

a



b

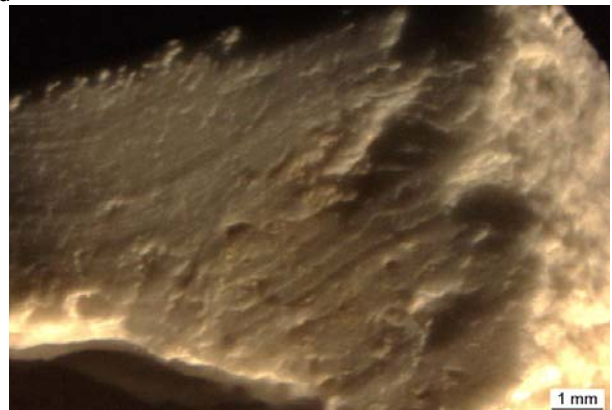


schwere Hiebe: V-förmige Kerben mit Fissuren am Spurende, Bruchschollen, (aus Küchelmann 2005c; Fotos: Braune, LKA Bremen)

c



d



c) plane Trennfläche mit resultierender Bruchkante, d) parallele Riefen (aus Küchelmann 2005c; Fotos: Braune, LKA Bremen)

Mit der Schaufel und dem Stecheisen gelang eine Durchtrennung des Knochens bei annähernd gleichem Kraftaufwand nicht. Schwere Hiebe mit dem Stecheisen erzeugten lediglich oberflächliche Zerstörungen, bei Zuhilfenahme eines Hammers fraß sich die Klinge im Knochen fest (Abb. 16a). Die Klingensenden des 20 mm breiten Stecheisens bildeten sich mehrfach im Knochen ab (Abb. 16a).

Bei multiplen schweren Schaufelhieben entstanden großflächig zerstörte Oberflächenbereiche (Abb. 16b), vermutlich aufgrund der Kombination aus geringer Schwungmasse und schlecht führbarer Klinge. Bei multiplen Beilhieben zerbarsten die Knochen, wobei zahlreiche kleine Fragmente entstanden, die mehrere Meter durch den Raum geschleudert wurden (Abb. 17a-b).

Abb. 16: Experimentelle Spuren



Stecheisen, schwere Hiebe mit 500 g Hammer auf Griffende:
Abbildung der Klingenkante, Fissuren am Spurende



Schaufel, multiple Hiebe: großflächige Oberflächenzerstörung

(aus Küchelmann 2005c; Fotos: Braune, LKA Bremen)

Alle Merkmale der experimentell erzeugten Beilspuren waren konsistent mit dem Spurenbild an den Knochen des Opfers. Ebenfalls übereinstimmend war die Kombination aus Hiebspur und resultierendem Bruch. Überraschend war die Ähnlichkeit des Bruchmusters bei nahe beieinander gelegenen multiplen Beilhieben mit dem Bruchmuster an den Knochen des Opfers, hier insbesondere das Auftreten von Rissen parallel zur Knochenlängsachse (Abb. 17b, d). Damit kam ein Beil des untersuchten Typs zur Erzeugung der Spuren an den Knochen des Opfers in Betracht. Demgegenüber wiesen Stecheisen und Schaufel in Einzelmerkmalen abweichende Eigenschaften auf. Hammer und Säge (Abb. 7d-f, 13c) konnten mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Die messbaren Spurwinkel waren in jedem Fall größer als der Winkel der Wirkungskante des erzeugenden Werkzeuges, es ließ sich jedoch in keinem Fall eine regelhafte Korrelation zwischen Werkzeugwinkel und Spurwinkel beobachten. Im Falle des Beiles betrug der Klingewinkel beispielsweise 28 – 29°, die messbaren Spurwinkel variierten von 33 – 54°. Winkelmessungen an Spuren in Knochen eignen sich damit lediglich zur Bestimmung einer Maximalgröße des Klingewinkels (Küchelmann 2005c).

Abb. 17: Experimentelle Spuren mit Beil, multiple Hiebe



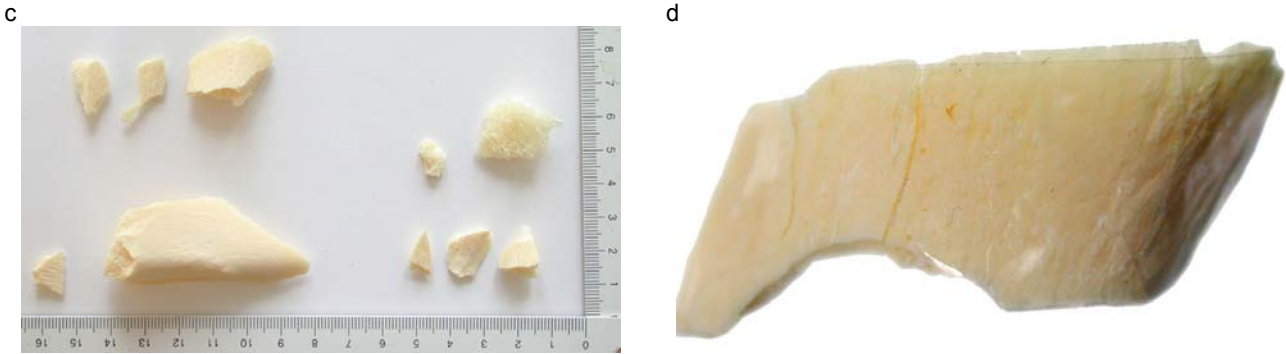
Einzelfragmente



wieder zusammengefügt

(aus Küchelmann 2005a; Fotos: Braune, LKA Bremen)

Abb. 17: Experimentelle Spuren mit Beil, multiple Hiebe



Mordopfer Bremen, linker Femur: Einzelfragmente (c) zum Teil wieder zusammengefügt (d)
(aus Küchelmann 2005a; Fotos: Braune, LKA Bremen)

Nach der Präsentation der Untersuchungsergebnisse in der Gerichtsverhandlung legte der Tatverdächtige ein schriftliches Geständnis ab, in welchem er die Zerstückelung der Leiche mit der Beilkomponente des ehemals in seinem Besitz befindlichen Exemplares des untersuchten Werkzeuges zugab. Somit ließ sich die Erzeugungsart der Spuren 1 – 18 im Nachhinein belegen und damit die Richtigkeit der Untersuchungsergebnisse verifizieren. Die Spur 19 (Abb. 12d) am ersten Brustwirbel wurde durch Mitarbeiter des Institutes für Rechts- und Verkehrsmedizin Bremen (IRM) bei der Abtrennung der Halswirbel für die Spurenuntersuchung mit einem breiten, sehr scharfen Meißel (Abb. 18) erzeugt. Dies war bei der Erstellung des Gutachtens (Küchelmann 2005a) zunächst nicht bekannt. Wie bereits erwähnt, wies die Spur weder makroskopische noch mikroskopische Merkmale auf, die eine Abgrenzung von den übrigen 18 Spuren erlaubt hätte, obwohl sowohl die Gesamtform der verwendeten Werkzeuge als auch die durchgeführte Handlung (Beilhieb vs. Hammerschlag auf aufgesetzten Meißel) sich deutlich voneinander unterschieden. Die Ursache hierfür liegt in der Ähnlichkeit der Klingenform (Klingenwinkel Meißel 38° , Spurwinkel 45°) und der identischen Einwirkungsrichtung begründet. Dieses Ergebnis warnt eindringlich davor, anhand einer Spur voreilige Schlüsse auf einen bestimmten Werkzeugtyp zu ziehen. Es illustriert gleichzeitig die Vorteile der funktionalen Herangehensweise.

Abb. 18: Meißel

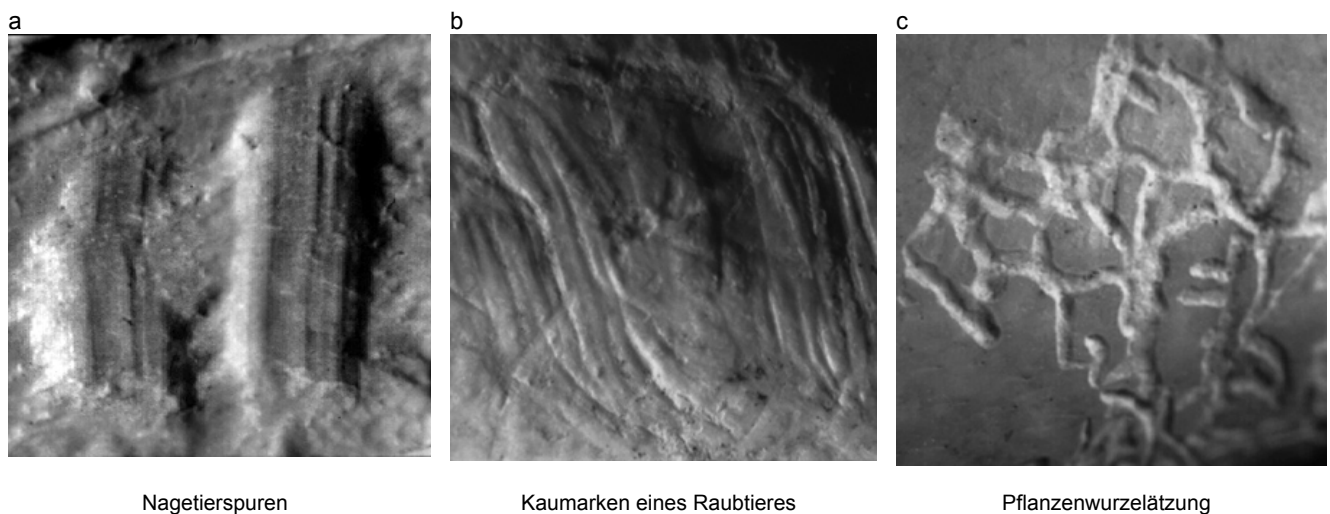


Meißel, der zur Abtrennung der Halswirbelsäule vom Rumpf verwendet wurde
(Fotos: Braune, LKA Bremen)

6. Verwechslungsmöglichkeiten mit anderen Spuren an Knochen

Anhand einiger exemplarischer Beispiele nur kurz angerissen werden soll an dieser Stelle das Thema der Verwechslungsmöglichkeiten von Werkzeugspuren mit nicht anthropogenen Spuren. Nagespuren von Nagetieren (Rodentia) (Abb. 19a) und Kaumarken von Raubtieren (Carnivora) (Abb. 19b) können beispielsweise mit Schnitt- und Schabemarken verwechselt werden. Wenn Knochen in verkehrsintensiven Bereichen (Straßen, Wege, Plätze, Wasserstellen, Wildwechsel) liegen, weisen ihre Oberflächen Zerstörungen auf, die Werkzeugspuren ähnlich sind (sogenanntes "Trampling"). Verwirrung können auch Spuren hervorrufen, die Wurzeln bestimmter Pflanzenarten durch Ausscheiden von Säuren an Knochen hinterlassen (Abb. 19c). Zu nicht anthropogenen Spuren an Knochen s. unter anderem Andrews (1990), Binford (1981, 35-86); Brain (1981), Küchelmann (1997) und Shipman (1981).

Abb. 19: Beispiele nicht anthropogener Spuren an Knochen



Nagetierspuren

Kaumarken eines Raubtieres

Pflanzenwurzelätzung

alle Beispiele Tierknochen, Jordanien, Bronzezeit, a x 12, b + c x 10 (aus Küchelmann 1997, 105, 115, 126, Abb. 79a, 83a, 87a)

7. Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei Matthias Braune (Landeskriminalamt Bremen, Kriminaltechnik) für die gute Zusammenarbeit und die Einladung zum Vortrag auf dem Symposium bedanken. Lena Wöhlke (Haus der Wissenschaft Bremen) danke ich für das Lektorat des Manuskriptes.

8. Literatur

- Andrews, Peter (1990): *Owls, Caves and Fossils*, London
- Bennike, Pia & Brade, Anna-Elisabeth (1999): *Middelalderens sygdomme og behandlingsformer i Danmark*, København
- Berg, Steffen / Rolle, Renate / Seemann, Henning (1981): *Der Archäologe und der Tod – Archäologie und Gerichtsmedizin*, München
- Binford, Lewis Roberts (1981): *Bones - Ancient Men and Modern Myths*, London
- Blumenschine, Robert J. & Selvaggio, Marie M. (1988): *Percussion marks on bone surfaces as a new diagnostic of hominid behaviour*. – *Nature* 333, 763-765
- Boylston, Anthea (2000): *Evidence for weapon-related trauma in British archaeological samples*. in: Cox, Margaret & Mays, Simon (eds.): *Human Osteology in Archaeology and Forensic Science*, 357-380, London
- Brain, Charles Kimberlin (1981): *The Hunters or the Hunted? – An Introduction to African Cave Taphonomy*, Chicago
- Brothwell, Don R. & Sandison, A. T. (eds.) (1967): *Diseases in Antiquity – A Survey of the Diseases, Injuries and Surgery of Early Populations*, Springfield
- Bucher, Otto & Wartenberg, Hubert (1997): *Cytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen*, 12. Auflage, Bern
- Buckland, D. (1823): *Reliquiae Diluvianae: or Observations on the organic remains contained in caves, fissures and diluvial gravel, and on other geological phenomena attesting the action of an universal deluge*, London
- Bunn, Henry (1981): *Archaeological evidence for meat-eating by Plio-Pleistocene hominids from Koobi Fora and Olduvai Gorge*. – *Nature* 291, 574-577

- Cavallo, Chiara / d'Errico, Francesco / Giacobini, Giacomo (1991): *A taphonomic approach to the Grotta d'Ernesto Mesolithic site*. – *Preistoria Alpina* 27, 121-150
- Czihak, G. / Langer, H. / Ziegler, H. (1984): *Biologie*, Berlin
- Dart, Raymond A. (1949): *The Predatory Implemental Technique of Australopithecus*. – *American Journal of Physical Anthropology* 7 (1), 1-38
- Dart, Raymond A. (1958): *The Animal Bone-Breccia Content of Makapansgat and the Australopithecine Predatory Habit*. – *American Anthropologist* 60, 923-931
- Dart, Raymond A. (1961): *An Australopithecine Scoop made from a right Australopithecine Upper Arm Bone*. – *Nature* 191, 372-373
- Dart, Raymond A. (1962): *Substitution of Stone Tools for Bone Tools at Makapansgat*. – *Nature* 196, 314-316
- Efremov, Isaac A. (1940): *Taphonomy, a new branch of paleontology*. – *Pan-American Geologist* 74, 81-93
- Ewersen, Jörg (2001): *Auf den Spuren der Spuren. Knochenfunde als Indikator für die Ökologie und Ökonomie der neolithischen Siedlung Heidmoor*. – *Archäologische Nachrichten aus Schleswig-Holstein* 12, 27-42
- Greenfield, Haskel J. (1999): *The origins of metallurgy: distinguishing stone from metal cut marks on bones from archaeological sites*. – *Journal of Archaeological Science* 26 (7), 797-808
- Greenfield, Haskel J. (2000): *The origins of metallurgy in the central Balkans based on the analysis of cut marks on animal bones*. – *Environmental Archaeology* 5, 119-132
- Greenfield, Haskel J. (2002a): *Distinguishing Metal (Steel and Low-tin Bronze) from Stone (Flint and Obsidian) Tool Cut Marks on Bone: An Experimental Approach*. in: Mathieu, James R. (ed.) *Experimental Archaeology*, British Archaeological Reports International Series 1035, 35-54, Oxford
- Greenfield, Haskel J. (2002b): *The Origins of Metallurgy – A Zooarchaeological Perspective*. in: Harrison, Roman / Gillespie, Milan / Peuramaki-Brown, Meaghan (eds.): *Eureka: The Archaeology of Innovation & Science – Proceedings of the Twenty-Ninth Annual Chacmool Conference*, 430-448, Calgary
- Herrmann, Bernd / Gruppe, Gisela / Hummel, Susanne / Piepenbrink, Hermann / Schutkowski, Holger (1990): *Prähistorische Anthropologie*, Berlin
- Hönsch, Claudia (2005): *Forensische Osteologie – Das Skelett als Spur*, unveröffentlichte Diplomarbeit, Hochschule für öffentliche Verwaltung Bremen
- Koff, Clea (2004): *Die Knochenfrau – Meine Arbeit in den Massengräbern für das UN-Kriegsverbrechertribunal*, München
- Küchelmann, Hans Christian (1997): *Bißspuren von Säugetieren an rezenten und subfossilen Knochen – ein Beitrag zur Taphonomie*, unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Oldenburg
- Küchelmann, Hans Christian (2005a): *Werkzeugspuren an Knochen*, unveröffentlichtes Gutachten, Staatsanwaltschaft Bremen
- Küchelmann, Hans Christian (2005b): *Aussagefähigkeit von Knochenmaterial*. – *Kriminalistik* 10/2005, 586-599
- Küchelmann, Hans Christian (2005c): *Vergleichende Untersuchung des Spurenbildes eines möglichen Tatwerkzeuges mit Werkzeugspuren an Knochen*, unveröffentlichtes Zusatzgutachten, Staatsanwaltschaft Bremen
- Löffler, Klaus (1994): *Anatomie und Physiologie der Haustiere*, Stuttgart
- Lyman, Roger Lee (1994): *Vertebrate Taphonomy*, Cambridge
- Nickel, Richard / Schummer, August / Seiferle, Eugen (1992): *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*, Band I: *Bewegungsapparat*, 6. Auflage, Berlin / Hamburg
- Noe-Nygaard, Nanna (1975): *Bone injuries caused by human weapons in Mesolithic Denmark*. in: Clason, Anneke T. (ed.): *Archaeozoological studies*, 151-159, Amsterdam
- Potts, Richard & Shipman, Pat (1981): *Cutmarks made by stone tools on bones from Olduvai Gorge, Tanzania*. – *Nature* 291, 577-580
- Remane, Adolf / Storch, Volker / Welsch, Ulrich (1985): *Kurzes Lehrbuch der Zoologie*, Stuttgart
- Roberts, Charlotte & Manchester, Keith (1997): *The Archaeology of Disease*, 2nd edition, New York
- Shipman, Pat (1981): *Life History of a Fossil*, Cambridge
- Shipman, Pat / Bosler, Wendy / Davis, Karen Lee (1981): *Butchering of Giant Geladas at an Acheulian Site*. – *Current Anthropology* 22(3), 257-268
- Shipman, Pat & Rose, Jennie (1983): *Early Hominid Hunting, Butchering, and Carcass-Processing Behaviors: Approaches to the Fossil Record*. – *Journal of Anthropological Archaeology* 2, 57-98
- Stodiek, Ulrich & Paulsen, Harm (1996): *„Mit dem Pfeil, dem Bogen...“ – Technik der steinzeitlichen Jagd*, *Archäologische Mitteilungen aus Nordwestdeutschland*, Beiheft 16, Oldenburg
- Verhoff, Marcel A. & Kreutz, Kerstin (2004): *Forensische Osteologie*. – *Rechtsmedizin* 14, 417-430
- Verhoff, Marcel A. & Kreutz, Kerstin (2003): *Verletzungsspuren an Knochenfunden – Analyse und Beurteilung* – *Archiv für Kriminologie* 212, 41-52
- Villa, Paola & Mahieu, Eric (1991): *Breakage patterns of human long bones*. – *Journal of Human Evolution* 21, 27-48
- von den Driesch, Angela & Boessneck, Joachim (1975): *Schnittspuren an neolithischen Tierknochen – Ein Beitrag zur Schlachttierzerlegung in vorgeschichtlicher Zeit*. – *Germania* 53, 1-23, Tafeln 1-8, Berlin
- von Gersdorff, Hans (1528): *Feldtbuch der Wundartzney*, Straßbourg
- Weigelt, Johannes (1927 / 1999): *Rezente Wirbeltierleichen und ihre paläobiologische Bedeutung*, 3. Auflage, Bad Vilbel
- Wells, Calvin (1965): *Bones, Bodies and Disease*, 2nd impression, London
- Wirth, Ingo & Strauch, Hansjörg (2000): *Rechtsmedizin – Grundwissen für die Ermittlungspraxis*, Heidelberg