

Virtuelle Rekonstruktion und stereolithographisches Modell eines jungneolithischen Schädelndundes aus der Blätterhöhle in Hagen, Nordrhein-Westfalen

Jörg Orschiadt, Flora Gröning und Thorsten M. Buzug

Zusammenfassung – Die Anwendung neuer computergestützter Verfahren wie der Computertomographie und 3D-Bildbearbeitung eröffnet neue Möglichkeiten in der Rekonstruktion fragmentarischer Skelettfunde. Gegenüber herkömmlichen Methoden sind diese Verfahren nicht-invasiv und damit zerstörungsfrei. Im Folgenden wird die virtuelle Rekonstruktion eines jungneolithischen Schädelndundes aus der Blätterhöhle bei Hagen, Nordrhein-Westfalen beschrieben. Von diesem Schädel sind Fragmente des Calvariums und des Gesichtsschädelndundes vorhanden. Durch die virtuelle Spiegelung der vorhandenen Stücke konnte der Schädel fast vollständig rekonstruiert werden. Auf der Basis dieser virtuellen Rekonstruktion wurde anschließend ein stereolithographisches Modell erstellt. Die virtuelle Rekonstruktion dieses Fundes bietet nicht nur Möglichkeiten für die weitere wissenschaftliche Bearbeitung des Fundes, sondern verbessert vor allem die Attraktivität und Anschaulichkeit des Fundes in der musealen Präsentation.

Schlüsselwörter – Virtuelle Rekonstruktion, Stereolithographie, Jungneolithikum, menschlicher Schädel

Abstract – The application of new computer-based techniques like computed tomography and 3D image processing provides new possibilities for the reconstruction of fragmentary skeletal remains. In contrast to conventional methods, these techniques are non-invasive and thus non-destructive. In this article, the virtual reconstruction of a Late Neolithic cranium from the cave site Blätterhöhle close to Hagen, North Rhine-Westphalia is described. Neurocranial as well as facial fragments of this skull are preserved. The cranium could be almost completely reconstructed by mirror imaging of the preserved parts. On the basis of this virtual reconstruction, a stereolithographic model has been produced. The virtual reconstruction of this find provides not only possibilities for the additional scientific examination of the cranium, but also makes the find more attractive and comprehensible for museum visitors.

Keywords – virtual reconstruction, stereolithography, Late Neolithic, human skull

Fundkontext

Die Blätterhöhle befindet sich im „Weißenstein“, einem 189,4 m ü. NN hohen Kalkmassiv im Tal der Lenne, einem Seitenfluss der Ruhr, in unmittelbarer Nähe der Ortschaft Holthausen, innerhalb des Stadtgebietes von Hagen. Der Eingang der Blätterhöhle am Südhang dieser Felsformation liegt unmittelbar an der Mündung eines engen Seitentals der Lenne. Die weißen Kalkfelsen bilden eine weithin sichtbare Landmarke im unteren Lennetal. Sie formen den Anfang eines sich von Hohenlimburg nach Süden zu einem tiefen Gebirgstal verengenden Flussbereichs der Lenne. Am „Weißenstein“ öffnet sich das Lennetal zu einer weiten Terrassenlandschaft, die im Norden durch das Ruhrtal und die südlichen Ausläufer des Ardeygebirges sowie von dem beherrschenden Syberg (Hohensyburg) abgeschlossen wird. Am östlichen Fuß des Weißensteins befindet sich eine Karstquelle, der „Barmer Teich“, die den Großteil des Karstgebietes entwässert.

Seit den 1920'er Jahren ist die Umgebung des „Weißenstein“ durch verschiedene archäologische Funde bekannt. In verschiedenen Höhlen und auf Äckern der Umgebung wurden in der Vergangenheit paläolithische, mesolithische und neolithische Artefakte, bronze- und eisenzeitliche

Trachtbestandteile und Waffen sowie mittelalterliche Keramik entdeckt.

Im Rahmen einer hydrologischen Untersuchung, die im Auftrag der Stadt Hagen durchgeführt wurde, konnte die Blätterhöhle im April 2004 erstmalig speleologisch durch den Arbeitskreis Kluterthöhle e.V. untersucht werden. Dabei wurde die Höhle als Kriechgang begehbar gemacht und bis auf eine Länge von 65 m vermessen. Die Höhle selbst besteht in ihrer heute bekannten Form aus einem schräg nach unten führenden, ca. 10 m langen, röhrenförmigen Schacht von ca. 60 x 70 cm Durchmesser, der in einem waagerechten gewundenen Kriechgang mündet. Die Höhle ist bis auf den hinteren Bereich nur kriechend zu befahren. Teilweise liegen Engstellen vor, die einem Fall auch nur auf der Seite liegend durchquert werden können. Bei der Ausräumung des Kriechganges konnte eine Vielzahl menschlicher und tierischer Skelettreste, die in ungeordneter Fundsituation angetroffen wurden, geborgen werden. Aufgrund dieser Funde wurde auf eine weitere Ausräumung von Sediment verzichtet. Da an keiner Stelle der gewachsene Felsboden erreicht ist, kann erwartet werden, dass der ursprüngliche Zugang deutlich größer gewesen sein muss. Die Fundstelle wurde nach der Entdeckung der archäologischen Funde durch ein alarmgesicher-

tes Tor verschlossen. Seit 2006 wird sowohl die Höhle selbst als auch der Vorplatz archäologisch untersucht. In den bislang zwei Grabungskampagnen wurden weitere Funde menschlicher und tierischer Reste sowie Steingeräte und Keramikfragmente geborgen. Ein Vorbericht über erste Ergebnisse zur Fundstelle befindet sich derzeit im Druck (ORSCHIEDT et al. im Druck).

Menschenreste

Menschliche Reste wurden in einem Bereich unmittelbar hinter der Mündung des Schachtes im Bereich des waagerechten Kriechganges entdeckt. Anatomische Zusammenhänge konnten weder bei den menschlichen, noch bei den tierischen Skelettresten beobachtet werden. Die bei der Bergung gemachte Beobachtung einer verstreuten Lage der Skelettreste sowie das teilweise sehr lose Sediment ist mit einer Störung der ursprünglichen Lage durch grabende Tiere in Verbindung zu bringen. Die in den Faunenresten sehr häufig vertretenen Dachse dürften zu dieser Störung beigetragen haben.

Die menschlichen Skelettreste stellen die größte Fundgattung im bislang geborgenen archäologischen Material dar. Insgesamt liegen ca. 200 menschliche Reste vor, die in der Mehrzahl bei der Ausräumung des Kriechganges entdeckt wurden aber auch bei den seit 2006 stattfindenden Grabungen in der Höhle und auf dem Vorplatz geborgen wurden. Bisher liegen Skelettreste von mindestens sieben menschlichen Individuen vor (ORSCHIEDT/GRÖNING 2007). Die Erhaltung der Skelettreste kann generell als gut bis sehr gut bezeichnet werden. Einige Skelettreste weisen sowohl alte als auch frische Brüche auf, die auf die Bergung zurückzuführen sind. Die gute qualitative und quantitative Erhaltung ist vor allem auf die Beschaffenheit der weitgehend trockenen Kalkhöhle zurückzuführen. Innerhalb des Skelettmaterials sind alle Regionen des menschlichen Skelettes vertreten. Allerdings sind kleinere Skelettreste wie Hand- und Fußknochen, Wirbel und Rippenfragmente deutlich unterrepräsentiert. Einige dieser kleineren Skelettelemente konnten jedoch aus den Faunenresten und beim Schlämmen des Sedimentes ausgelesen werden.

Die Alters- und Geschlechtsbestimmung wurde nach den üblichen anthropologischen Standards durchgeführt (FEREMBACH et al. 1979; RÖSING et al. 2005; SJØVOLD 1988; SZILVÁSSY 1988). Die Bestimmung wird durch die Tatsache erschwert, dass keine vollständigen Individuen, sondern le-

diglich isolierte menschliche Reste vorliegen. Insgesamt lassen sich zwei Kinder der Altersstufen infans I und II, eine juvenile Frau, ein erwachsener Mann, eine erwachsene Frau und ein nicht geschlechtsbestimmtes erwachsenes Individuum nachweisen.

Datierung

Es liegen keine stratigraphischen Beobachtungen vor, die für eine zeitliche Einordnung der Knochenfunde aus dem Höhleninneren nutzbar wären. Da die Schichten, in denen die Funde gemacht wurden, zum größten Teil gestört waren, wie bei der Nachgrabung ermittelt werden konnte, kann bisher nur auf ¹⁴C-Datierungen zurückgegriffen werden. Unmittelbar nach der Entdeckung der Skelettreste wurde eine AMS-Datierung eines Schädeldaches veranlasst. Diese Messung ergab ein frühmesolithisches Alter des Schädels. In der Folge wurden weitere menschliche Skelettreste in den ¹⁴C-Laboratorien von Kiel und Oxford datiert. Die Untersuchung des Kollagengehaltes der Knochen deutet auf eine sehr gute bis gute Erhaltung hin.

Die Ergebnisse lassen erkennen, dass die menschlichen Reste aus der Blätterhöhle aus zwei verschiedenen Zeitphasen stammen, dem Frühmesolithikum und dem Jungneolithikum. Unter den datierten menschlichen Resten befindet sich auch ein fragmentiertes menschliches Calvarium (04/007), dessen Datierung ein Alter von 4833 ± 37 BP (3610 ± 60 calBC, OxA-14464), bzw. 4835 ± 30 BP (3610 ± 50 calBC, KIA-26263a) ergab. Weitere Datierungen menschlicher Reste fallen ebenfalls in einen jungneolithischen Zeitabschnitt zwischen 3.600 und 3.000 calBC.

Anthropologische Bearbeitung des Schädels

Das jungneolithische Calvarium wurde aus zahlreichen Fragmenten rekonstruiert und weist wie die übrigen Skelettreste aus der Blätterhöhle einen sehr guten qualitativen Erhaltungszustand auf. Es lässt nur einige Beschädigungen erkennen, die aufgrund der hellen Bruchränder eindeutig mit der Bergung bzw. mit der unmittelbaren Entdeckung des Stückes in Zusammenhang stehen. Defekte Bereiche sind im Bereich des linken Os parietale und des rechten Os frontale zu erkennen (Abb. 1). Neben dem Calvarium ist dem Individuum ein Fragment des Gesichtsschädels zuzuordnen. Bei diesem Fragment sind die linke Gesichtshälfte



Abb. 1 Schädel der jungen Frau aus der Blätterhöhle nach Zusammensetzung der vorhandenen Fragmente (Orschiedt/Gröning)

sowie beide Hälften der Maxilla fast komplett erhalten. Das Os zygomaticum befindet sich jedoch nicht mehr in seiner ursprünglichen Position sondern ist nach posterior gedreht und verschoben. Im Bereich des rechten Os frontale liegt ein isoliertes Fragment des rechten Orbitadaches vor, das nicht direkt angepasst werden konnte. Das Schädelfragment wurde aus zahlreichen Fragmenten rekonstruiert und weist wie die übrigen Skelettreste aus der Blätterhöhle einen sehr guten qualitativen Erhaltungszustand auf.

Die Schädelfragmente repräsentieren ein juveniles Individuum, da die Sphenobasilarfuge noch nicht verschlossen ist, was üblicherweise bis zum ca. 23. Lebensjahr erfolgt, und der 3. Molar des Oberkiefers noch nicht durchgebrochen ist (FEREMBACH et al. 1979; RÖSING 2005; SZILVÁSSY 1988). Das Geschlecht kann anhand der vorliegenden Schädelmerkmale übereinstimmend als weiblich bestimmt werden. So liegen neben einer gering ausgeprägten Glabella und dem Arcus superciliaris, einem scharfkantigen Margo supraorbitale, deutliche Tuber parietale sowie ein schwach ausgeprägter Processus mastoideus vor (FEREMBACH et al. 1979; RÖSING 2005; SJØVOLD 1988). Die Bestimmung wird durch die Messung des Austrittswinkels des Meatus acusticus internus in der Pars petrosa von ca. 90° bestätigt (GRAW et al. 2005). Die Ansatzstellen der Muskulatur im Bereich des Os parietale und Os occipitale sind nur schwach ausgeprägt. Dies unterstützt ebenfalls zusammen mit

einem grazilen Erscheinungsbild die Bestimmung als weibliches Individuum.

Computertomographische Erfassung des Schädels

Bei der Computertomographie (CT) handelt es sich um ein Verfahren zur Erzeugung von Schnittbildern eines Objektes mit Hilfe von Röntgenstrahlen. Ein wesentlicher Vorteil der Computertomographie gegenüber herkömmlichen Röntgenverfahren besteht darin, dass das Bild nicht auf eine zweidimensionale Fläche projiziert wird, sondern schichtweise und überlagerungsfrei in eine dreidimensionale Matrix rekonstruiert wird (BUZUG 2004). Auf der Basis des resultierenden Bildstapels kann daher anschließend eine dreidimensionale Rekonstruktion, eine sogenannte sekundäre Rekonstruktion, des gescannten Objektes erstellt werden.

Die Schädelreste des spätjuvenilen Individuums wurden mit einem Philips CT Secura Scanner vermessen (Abb. 2). Hierfür wurde eine Spannung von 100 kV und eine Stromstärke von 80 mA verwendet. Das Calvarium und der Gesichtsschädel wurden einzeln eingescannt. Vom Calvarium wurden koronale Schichtbilder aufgenommen, vom Gesichtsschädel axiale. Der Schichtabstand betrug in beiden Scans 2 mm. Im Falle des Calvariums wurde eine Pixelgröße der Schichtbilder von 0,34 mm rekonstruiert. Im Falle des Gesichtsschädels lag die Pixelgröße bei 0,23 mm.

Virtuelle Rekonstruktion

Die virtuelle Rekonstruktion fragmentarischer Funde gewinnt in der Anthropologie zunehmend an Bedeutung. Sie bietet zwei wesentliche Vorteile gegenüber konventionellen Verfahren: Sie ist nicht-invasiv und reversibel. Bei einer herkömmlichen Rekonstruktion ist es schwierig, die verklebten Teile wieder voneinander zu lösen ohne den Fund zu beschädigen. Eine virtuelle Rekonstruktion erlaubt dagegen, das Stück beliebig oft zusammenzusetzen und wieder zu zerlegen. In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche fragmentarische Fossilfunde virtuell rekonstruiert (z. B. KALVIN et al. 1995; ZOLLIKOFER et al. 1995; THOMPSON/ILLERHAUS 1998; GUNZ et al. 2004). Ein gängiges Verfahren ist dabei das Ersetzen fehlender Fragmente durch das Spiegeln vorhandener Teile.

Bei dem jungneolithischen Schädel aus der Blätterhöhle ist die linke Gesichtshälfte komplett



Abb. 2 Einrichten der Vermessung des Schädels mit einem Philips CT Secura Scanner (Orschiedt)

vorhanden. Darüber hinaus liegt auch die rechte Hälfte des Calvariums fast vollständig vor. Der Fund bietet sich daher besonders für eine Rekonstruktion durch Spiegelung erhaltener Teile an. Vor der eigentlichen Rekonstruktion wurden daher die beide Scans des Calvariums und des Gesichtsschädels gespiegelt, sodass insgesamt vier Datensätze zur Verfügung standen. Die Spiegelung wurde mit Hilfe der freien Bildbearbeitungssoftware ImageJ durchgeführt.

Die eigentliche Rekonstruktion erfolgte mit der 3D-Bildbearbeitungssoftware AMIRA 3.1.1®. Im ersten Schritt wurden die Schichtbilddatensätze eingelesen und knöcherne Strukturen von der umgebenden Luft durch das Festlegen eines minimalen Dichtewertes getrennt. Auf diese Weise wurde von jedem Fragment und seiner gespiegelten Version ein 3D-Oberflächenmodell erstellt. Anschließend wurden die Fragmente durch manuelles Drehen und Verschieben aneinander angepasst (Abb. 3).

Da die Fragmente an einigen Stellen über die Mediansagittale hinaus reichten, entstanden beim Zusammensetzen einige Überlagerungen. Diese wurden manuell korrigiert, indem gespiegelte Bereiche, die die Originalstücke überlappten, entfernt wurden. Dies betrifft vor allen Dingen die Maxilla. Da sie fast vollständig erhalten ist, wurde darauf verzichtet, eine Spiegelung entlang der Mediansagittalen vorzunehmen.

Obleich die Spiegelung vorhandener Fragmente desselben Individuums eine sehr siche-

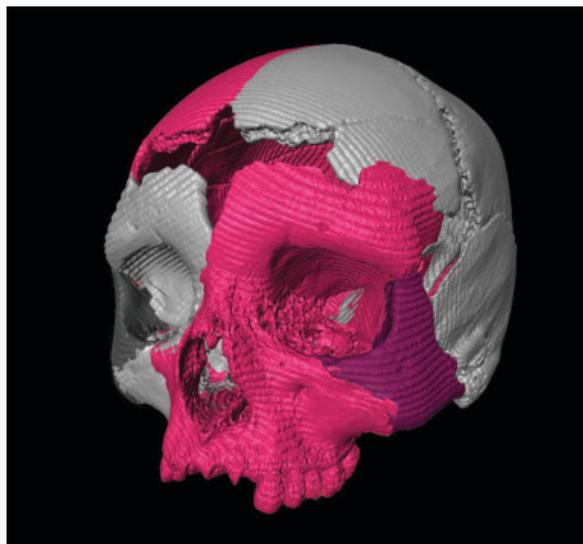


Abb. 3 Screenshot der virtuellen Rekonstruktion mit Ergänzung der fehlenden anatomischen Bereiche (Gröning). Gespiegelte Fragmente: grau, ungespiegelte Fragmente: violett

re Rekonstruktionsmethode darstellt, da das menschliche Skelett im wesentlichen bilateral symmetrisch ist, kann es im Detail Probleme geben, da einzelne Knochen durchaus auf der rechten und linken Körperhälfte eine unterschiedliche Größe oder Gestalt besitzen können. Auch in der hier beschriebenen Rekonstruktion war es an einigen Stellen nicht möglich die Fragmente perfekt aneinander zu passen. Es wurden dann jeweils die bestmöglichen Anpassungen gewählt und die Kanten manuell korrigiert.

Eine besondere Behandlung erforderte das Os zygomaticum. Durch eine Beschädigung ist es im Originalfund nicht mehr in seiner ursprünglichen Position, sondern leicht nach posterior gedreht und verschoben. Um diese Beschädigung zu korrigieren, wurde das Os zygomaticum als ein separates Objekt segmentiert und anschließend durch manuelles Drehen und Verschieben in seine ursprüngliche, anatomisch korrekte Position gebracht.

Die virtuelle Anpassung der einzelnen Fragmente geschah auf der Basis von Abbildungen kompletter Schädel in verschiedenen Ansichten, dem Verlauf der Schädelnähte und Messungen, z. B. des Durchmessers des Foramen magnum. Im Allgemeinen ist das dreidimensionale Zusammensetzen von Fragmenten auf einem zweidimensionalen Computerbildschirm keine einfache Aufgabe, da die dreidimensionale Position der einzelnen Objekte nur unzureichend wiedergegeben wird. Dies kann durch eine stereoskopische Darstellung verbessert werden. Die vorläufige Rekonstruktion wurde daher im HIVE-Zentrum der

Universität Hull (HIVE - Hull Immersive Visualization Environment), das über einen interaktiven Virtual Reality Room verfügt, überprüft. Hierbei wurden einige Bereiche entdeckt, in denen die Fragmente nicht optimal aneinander passten, was anschließend korrigiert wurde.

Der letzte Schritt der Rekonstruktion bestand darin, die einzelnen Oberflächenmodelle zu einem einzigen Oberflächenmodell zusammenzufassen.

Erstellung des stereolithographischen Modells

Um von einer virtuellen Rekonstruktion ein greifbares Modell zu erstellen, bietet sich die Technik der Stereolithographie an. Bei diesem Verfahren wird ein zunächst flüssiger Kunststoff mit Hilfe eines Lasers schichtweise ausgehärtet. Die Lenkung des Lasers erfolgt computergesteuert auf der Basis des virtuellen Modells und ist bei hoch auflösenden Geräten auf Mikrometer genau. Ursprünglich wurde dieses Verfahren für die Herstellung von Prototypen in der Industrie entwickelt. Mittler-

weile wurde es jedoch schon mehrfach angewendet, um Repliken von archäologischen Funden und Fossilien zu erstellen (ZUR NEDDEN et al. 1994, ZOLLIKOFER et al. 1995, SEIDLER et al. 1997).

Um eine Stereolithographie des rekonstruierten neolithischen Schädels erstellen zu können, war es erforderlich, die Daten weiter zu bearbeiten. Mit der freien Software MeshLab wurde das Modell von sich überschneidenden oder isolierten Flächen bereinigt und anschließend geglättet. Eine solche Bereinigung ist für den Aufbau eines stereolithographischen Modells zwingend erforderlich. Darüber hinaus wurde mit der Glättung eine deutliche Reduzierung der Dateigröße erreicht. Das endgültige Modell wurde schließlich als STL-Datei exportiert.

Das Stereolithographische Modell wurde von der österreichischen Firma Zumtobel-Werkzeugbau mit Hilfe einer Stereolithographieanlage des Typs SLA 7000 erstellt. Die Schichtdicke betrug dabei 0,1 mm und als Material wurde Epoxydharz verwendet (Abb. 4).



Abb. 4 Die fertig gestellte Stereolithographie des Schädels (Orschiedt)

Fazit

Nach den ersten Grabungsergebnissen sprechen die Funde für eine Nutzung des Vorplatzes und der Blätterhöhle während des ausgehenden Spätpaläolithikums, älteren Frühmesolithikums sowie während des Jungneolithikums. In den letzten beiden Zeitperioden ist die Höhle als Bestattungsort genutzt worden. Parallelen für die Niederlegung menschlicher Körper in Höhlen in der Zeit zwischen 3.600 und 3.000 calBC. liegen unter anderem aus dem benachbarten Belgien vor (ORSCHIEDT et al. im Druck).

Der Einsatz computergestützter Verfahren hat sich bei der Rekonstruktion des spätjuvenilen neolithischen Schädels als äußerst lohnenswert erwiesen. Aus den beiden Fragmenten, die zuvor nicht aneinander passten, ließ sich allein durch die Spiegelung vorhandener Reste ein fast vollständiger Schädel rekonstruieren. Dies ermöglicht z. B. metrische Vergleiche mit anderen Funden, die vorher durch den fragmentarischen Zustand nur eingeschränkt möglich waren. Neben dem Nutzen für eine weitere wissenschaftliche Bearbeitung bietet die virtuelle Rekonstruktion und Erstellung eines stereolithographischen Modells vor allen Dingen Vorteile für die museale Präsentation des Fundes. Der zuvor fragmentarische Fund kann nun dem Besucher als fast vollständiger Schädel präsentiert werden, was den Fund für die Besucher attraktiver und anschaulicher macht.

Das stereolithographische Modell wird derzeit in der Dauerausstellung des Museums für Ur- und Frühgeschichte Wasserschloss Werdringen zusammen mit dem Originalfund gezeigt. Es ist beabsichtigt auf der Basis des Modells eine Gesichtsrekonstruktion der Person anfertigen zu lassen.

Danksagung

Wir danken dem HIVE-Zentrum der Universität Hull für die Nutzung des Virtual Reality Rooms, die eine wesentliche Verbesserung der Rekonstruktion ermöglichte. Ebenso möchten wir uns bei Herrn Bruno Kuen von der Firma Zumtobel-Werkzeugbau für die gute Zusammenarbeit bedanken.

Literatur

- BUZUG, T. M. (2004): Einführung in die Computertomographie. Mathematisch-physikalische Grundlagen der Bildrekonstruktion. Berlin, Heidelberg 2004.
- FEREMBACH, D./SCHWIDETZKY, I./M. STLOUKAL (1979): Empfehlungen für die Alters- und Geschlechtsdiagnose am Skelett. *Homo* 30, 1979, 1–32.
- GRAW, M./WAHL, J./M. AHLBRECHT (2005): Course of the meatus acusticus internus as criterion for sex differentiation. *For. Scie. Internat.* 147, 2005, 113–117.
- GUNZ, P./MITTEROECKER, P./BOOKSTEIN, F. L./G. W. WEBER (2004): Computer aided reconstruction of incomplete human crania using statistical and geometrical estimation methods. *BAR Int. Series* 1227. Oxford 2004, 92–94.
- KALVIN, A. D./DEAN, D./J.-J. HUBLIN (1995): Reconstruction of human fossils. *IEEE Comp. Graphics Applications* 15, 1995, 12–15.
- ZUR NEDDEN, D. /KNAPP, R. /WICKE, K./JUDMAIER, W./MURPHY, W. A. /SEIDLER, H./W. PLATZER (1994): Skull of a 5,300-year-old mummy: reproduction and investigation with CT-guided stereolithography. *Radiology* 193, 1994, 269–272.
- ORSCHIEDT, J./F. GRÖNING (2007): Die menschlichen Skelettreste aus der Blätterhöhle, Stadt Hagen, In: ANDRASCHKO, F./KRAUS, B. /B. MELLER, (Hrsg.): Archäologie zwischen Befund und Rekonstruktion. Ansprache und Anschaulichkeit. Festschrift für Prof. Dr. Renate Rolle zum 65. Geburtstag. Hamburg 2007, 349–361.
- ORSCHIEDT, J./KEGLER, J./GEHLEN, B./SCHÖN, W./F. GRÖNING (im Druck): Die Blätterhöhle in Hagen-Holthausen (Westfalen). Vorbericht über die ersten archäologischen Untersuchungen. *Arch. Korrb.* (im Druck).
- RÖSING, F. W./GRAW, M./MARRÉ, B./RITZ-TIMME, S./ROTHSCHILD, M. A./RÖTZSCHER, K./SCHMELING, A./SCHRÖDER, I./G. GESERICK (2005): Arbeitsgemeinschaft für Forensische Altersdiagnostik der Deutschen Gesellschaft für Rechtsmedizin. Empfehlungen für die forensische Geschlechts- und Altersdiagnose am Skelett. *Rechtsmedizin* 15, 2005, 32–38.
- SEIDLER, H./FALK, D./STRINGER, C./WILFING, H./MÜLLER, G. B./ZUR NEDDEN, D./WEBER, G. W./RECHEIS, W./J.-L. ARSUAGA (1997): A comparative study of stereolithographically modelled skulls of Petralona and Broken Hill: implications for future studies of middle Pleistocene hominid evolution. *Jour. Hum. Evol.* 33, 1997, 691–703.

SJØVOLD, T. (1988): Geschlechtsdiagnose am Skelett. In: KNUSSMANN, R. (Hrsg.): Vergleichende Biologie des Menschen. Lehrbuch der Anthropologie und Humangenetik. Stuttgart 1988, 444–480.

SZILVÁSSY, J. (1988): Alterdiagnose am Skelett. In: KNUSSMANN, R. (Hrsg.): Vergleichende Biologie des Menschen. Lehrbuch der Anthropologie und Humangenetik Stuttgart 1988, 421–443.

THOMPSON, J. L./B. ILLERHAUS (1998): A new reconstruction of the Le Moustier 1 skull and investigation of internal structures using 3-D- μ CT data. *Jour. Hum. Evol.* 35, 1998, 647–665.

ZOLLIKOFER, C. P. E./PONCE DE LEÓN, M. S./MARTIN, R. D./ P. STUCKI (1995): Neanderthal computer skulls. *Nature* 375, 1995, 283–285.

*PD. Dr. Jörg Orschiedt
Historisches Centrum Hagen
Eilper Straße 71-75
58091 Hagen
joerg.orschiedt@stadt-hagen.de*

*Flora Gröning M.A.
PALAEO
Biology (S-Block)
University of York
PO Box 373
York YO10 5YW
flora.groening@palaeo.eu*

*Prof. Dr. Thorsten M. Buzug
Institut für Medizintechnik
Universität zu Lübeck
Ratzeburger Allee 160
23538 Lübeck
buzug@imt.uni-luebeck.de*