

Erste detaillierte macro- und micromorphologische Untersuchungen des *Homo erectus heidelbergensis* aus Mauer

Reiner Protsch von Zieten und Christian Foitzik

Einleitung

Die Mandibula von Mauer, bei Heidelberg in Baden-Württemberg, gehört zu den bedeutendsten und wahrscheinlich ältesten europäischen palaeoanthropologischen Funden. Die relative chronometrische Position ist biostratigraphisch-geologisch gut abgesichert. Neueste macro-micromorphologische Analysen ordnen diesen Fund in die *Homo erectus*-Gruppe ein, der in Afrika und Asien schon vor 1,9 bis 1,8 Millionen Jahren vorkam und in diesen Erdteilen wie auch in Europa bis ca. 200 000 Jahren B. P. sich zu anderen Gruppen evolutiv weiterentwickelte.

Einführung

Die Schwierigkeit morphologischer und taxonomischer Einordnung des Fundes lag fast 90 Jahre darin, daß keine modernen Untersuchungsmethoden an diesem fast vollständig erhaltenen Unterkiefer angewandt werden konnten. Erste Untersuchungen nach der Auffindung im Jahre 1907 konzentrierten sich ausschließlich auf allgemeine anatomische Beschreibungen (SCHOETENSACK 1908, SOBOTTA 1913). Neue detaillierte Untersuchungen, Robustizitätsmerkmale der Mikrostruktur und CT-Untersuchungen scheinen eine ziemlich klare Zuordnung zum *Homo erectus*-Komplex zu erlauben (PROTSCH VON ZIETEN 1989). Eine Anzahl von Merkmalen deuten ebenfalls auf *Homo sapiens neanderthalensis* hin, der dem *Homo erectus* zeitlich, wie auch evolutiv um ca. 200 000 Jahre B. P. folgt.

Das bisher am häufigsten beschriebene Merkmal, das die Mandibula von Mauer klar vom »anatomisch modernen« Menschen abgrenzt, ist das Fehlen eines protrudierenden Kinnvorsprungs. Dieser wurde immer wieder als Hauptmerkmal in bisherigen Analysen hervorgehoben (SCHOETENSACK 1908, SOBOTTA 1913, WEINERT 1937, SCHOCH 1943, WÜST 1951). In der hauptsächlich englischsprachigen Literatur wurde er seit den 50er Jahren als *Homo erectus* aufgeführt. Seit diesem Zeitpunkt wurde die Mandibula von bekannten Spezialisten wie WOLPOFF, D. CLARK, C. HOWELL und vielen anderen nur oberflächlich untersucht. Dies lag daran, daß eine zeitlich aufwendige und vor Ort längere Analyse diesen Spezialisten versagt wurde. Fachfremde, die direkten Zugang zum Fossil hatten, versuchten so absurde Sachen wie »Linkshändigkeit« und Ähnliches an der Mandibula erkennen zu können (KRAATZ 1985 a, KRAATZ 1985 b, WAGNER et al. 1992, WAGNER & KRAATZ 1995), was natürlich jeglicher anthropologisch-anatomischer Basis entbehrt.

Im Jahre 1991 wurde die Mandibula einer Gruppe von Fachwissenschaftlern zugänglich gemacht (Palaeoanthro-

pologen – Palaeontologen – Medizinern – Zahnmedizinern), die über eine Zeitperiode von zwei Jahren die Mandibula durch eine Anzahl neuerer Methoden untersuchten. Für detaillierte Untersuchungen wurde die Mandibula vom Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Heidelberg (Prof. Dr. BECHSTÄDT), dem Institut der Anthropologie und Humangenetik (Sektion Palaeoanthropologie) auf längere Zeit zur Verfügung gestellt. Der Hauptgrund einer ersten neuen Analyse war die Herstellung neuer Abgüsse der Mandibula, die in den 1920er Jahren und wiederum in den 1960er Jahren schon einmal abgegossen wurde. Diese vormaligen Abgüsse sind jedoch von so schlechter Qualität, daß vergleichende morphologische Analysen nur geringfügige Vergleiche zu anderen *Homo erectus* Funden ermöglichen. Da jedoch das Zusammensetzen der Mandibula-Hälften im Jahre 1908 unfachmännisch durchgeführt wurde, war eine detaillierte Präparation und neues Zusammensetzen des Unterkiefers von äußerster Wichtigkeit. Zudem stellte sich auch heraus, daß im Laufe der Jahre wiederholte Beschichtung des osteologischen Materials unfachmännisch erfolgte und so die Knochenstruktur noch mehr beschädigt wurde. Um bessere Abgüsse herstellen zu können, mußte die Mandibula folgenden Untersuchungsmethoden unterzogen werden:

1. Abgießen und Anfertigung der bisherigen alten (1908) Rekonstruktion
 2. Präparation und Befreiung von »alten« Materialien (erste Präparation)
 3. Neue Röntgenuntersuchungen
 4. Computer-Tomographie (CT)
 5. Computer-Imaging: rechts/links Rekonstruktion durch CT fehlender beschädigter Zähne
 6. Auseinandernehmen der Mandibula-Hälften im Symphysenbereich
 7. Macromorphologische Analysen und Beschreibung
 8. Micromorphologische Analysen und Beschreibung (dental und osteologisch)
 9. Palaeopathologische Analysen
 10. Zweite Präparation der beiden Kieferhälften und Zähne
 11. Fossilisierungsanalyse: mikroskopisch Computer-tomographisch
 12. Mikroskopische Analyse: Schellack, Ponal, Gips und anderer vormalig verwendeter Materialien
 13. Rasterelektronenmikroskopische (REM)-Untersuchung vormalig verwendeter Materialien sowie möglicherweise vorhandener organischer Materialien
 14. Enamelum-Prismen-Analyse mittels REM
- Da durch das klar erkennbare vormalig ungenaue Zusam-

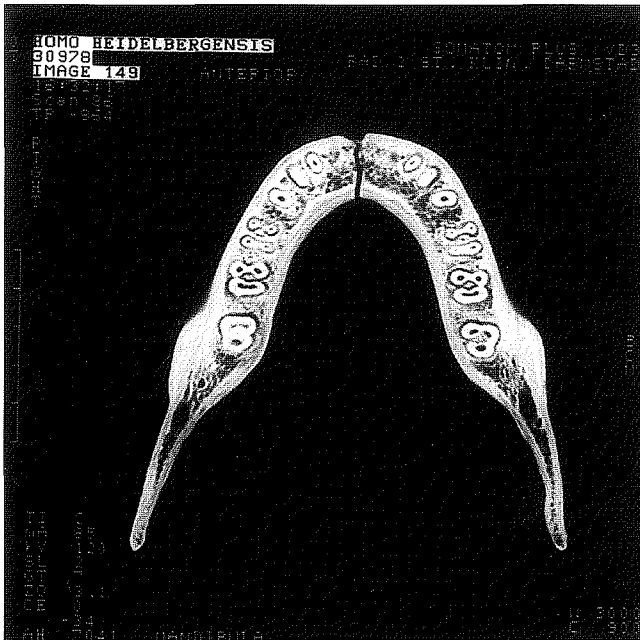


Abb. 1: CT-Aufnahme, anterior, Wurzel-Kronen-Grenzbereich.

menfügen der beiden Mandibula-Hälften (1908) eine große Spalte im Symphysenbereich zu bemerken war (Abb. 1), war eine genaue Abmessung der Mandibula und ein Vergleich zu anderen Funden (z. B. Montmaurin und Pithecanthropus) vorher nicht möglich. Auch ein Vergleich zu neuen Funden (Dmanesi), die dem Autoren als Abgüsse nicht ermöglicht wurden, war höchst ungenau. Die Abgüsse der alten Rekonstruktion von 1908 erwiesen sich ebenso morphologisch sehr unterschiedlich, was an der Durchführung der alten Abgußtechniken liegen könnte. Es stellte sich heraus, daß über viele Jahre das Fossil mindestens dreimal mit Schellack behandelt wurde. Ebenso wurde es mit einer Lage Ponal überdeckt. Zwei unterschiedliche Gipsmassen verdeckten wichtige anatomische Details wie z. B. Foramina. Es entstanden durch unfachmännisch aufgetragenes Material Risse, die einfach überdeckt wurden und den Knochen nach innen beschädigten. Dies ist ein altes Problem, bei dem der Fund nach dem Aufbewahren im Labor stärker beschädigt wird als im Boden vor der Ausgrabung. Ebenso konnten sekundäre Bruchstellen im Alveolarbereich aller Zähne und bei den Incisivi festgestellt werden. Einige Stellen des Knochens waren höchstwahrscheinlich einer Behandlung durch Säure, wahrscheinlich Salzsäure, ausgesetzt worden. Die Entfernung anhaftenden Materials und die Präparation, vor dem korrekten Wiederaussetzen und Anfertigung neuer Abgüsse, nahm etwas mehr als eineinhalb Jahre in Anspruch. Jeder Präparationsarbeitsgang wurde durch ein Spezialmikroskop (LEICA-Wild M3Z, KL 1500 electronic) mit einer Spezialkamera von LEICA festgehalten. Insgesamt wurden 720 Aufnahmen des Arbeitsvorganges dokumentiert. Eine Unmenge von alten Alginate-, Silicon-, Gips- und Wachsresten wurde entfernt und eine Sicherung der Schäden durch Versprödung durch

Wachs (Risse, abgeplatzte Stellen, Aufwölbung der Schellack-Schicht) bewerkstelligt. Kleinste Teile der versprödeten Lamina externa wurden aufgezeichnet und an den betreffenden Stellen wieder angefügt. Die größten Schäden erfolgten durch die vorher oberflächlich durchgeführten Abgußanfertigungen.

Als erstes wurde eine Isolierung des Unterkiefers mit Vaseline, Herstellung einer Silicon-Form, Gipsabgüsse, Öffnen des Bruches im Symphysenbereich und Entfernung des Klebers mittels Aceton, Pinsel und Nadel, sowie Entfernung des Klebers an den zahlreichen Bruchstellen unter dem Stereomikroskop durchgeführt. Nach Computer-Imaging wurden fehlende Kronen (Praemolaren und Molaren der linken Seite) durch Metallkeramik hergestellt. Am Eingang des Foramen mentale und des Foramen mandibulae verschlossen Quarzkristalle den Zugang zum Canalis mandibularis. Nach Präparation und Entfernung Letzterer wurde im Innenraum des Canalis organische Substanz (?) festgestellt und eine winzige Probe entnommen, ohne die osteologische Substanz zu verletzen. Diese könnte, wenn es tatsächlich kein Präparationsmaterial ist, später für eine DNA-Analyse gebraucht werden. Nach ersten REM-Aufnahmen scheint sich diese Substanz klar von Ponal, Schellack und sonstigen Präparationsmitteln zu unterscheiden. Die Quarzkristalle, nach Entfernung, reagierten natürlich nicht auf Salzsäure.

Da die ursprünglichen Röntgenaufnahmen von 1907 nicht der besten Qualität entsprachen (SCHOETENSACK 1908, SOBOTTA 1913) wurden neue Aufnahmen angefertigt. Diese galten natürlich nur als komplementäre Aufnahmen zu den Computertomographischen Aufnahmen. Letztere zeigten deutlich, daß viele vorherige Untersuchungen der Mandibula wichtige detailmorphologische Fakten übersehen hatten. So z. B., daß alle vorhandenen Zähne ursprünglich als intakt angesehen wurden. Es stellte sich jedoch heraus, daß eine Anzahl von Zähnen entweder im Kronen- oder Wurzelbereich (Abb. 2, 3) frakturiert waren und demzufolge nach ursprünglichem inkorrektem Zusammensetzen eine etwas merkwürdige Okklusionsfläche darstellten. Jeder dieser Zähne wurde in Detailkonstruktion genauestens wieder im Einzelnen aufgepaßt. Von den ursprünglich separat aufgefundenen Kieferhälften war die rechte relativ gut erhalten, während in der linken Hälfte nur der erste und zweite Incisivus (LI1 und LI2), der Caninus (LC) sowie der dritte Molar (LM3) vollständig erhalten waren. Die Kronen der beiden linken Prämolaren (LP3 und LP4) und der beiden ersten Molaren (LM1 und LM2) waren abgebrochen und bei der ersten Rekonstruktion im Jahre 1908 mit einem Kleber ungenau fixiert worden.

Bei der ersten Präparation des Kiefers im Jahre 1908, sowie bei der zweiten in den sechziger Jahren traten zusätzliche Beschädigungen der Kronen auf der linken Kieferhälfte auf, wobei Kalkverkrustungen auf der linken Zahnreihe, die während einiger hunderttausend Jahre Erdlagerung entstanden waren, teils abgebrochen, teils mit verdünnter Salzsäure abgelöst worden waren. Dadurch wurde der Zahnschmelz dieser Zähne, sowie auch der der angrenzenden Zahnkronen beschädigt.



Abb. 2: CT-Aufnahme, anterior, II links, Wurzelfraktur.



Abb. 3: CT-Aufnahme, anterior, vormalige Frontalfaktur im Symphysenbereich.

Auf der rechten Kieferhälfte waren die beiden Incisivi (RI1 und RI2) im Wurzelbereich an der Medianfraktur des Unterkiefers beteiligt. In den Kriegswirren des zweiten Weltkrieges wurde die Mandibula unfachmännisch gelagert, wodurch auch noch die beiden Kronen der abfrakturierten Prämolaren verlorgengingen.

Durch Computer-Imaging konnte vor dem Auseinandernehmen der Kieferhälften genauestens ein Aneinanderpassen an der Bruchstelle, es klappte hier ein Spalt von zwei Millimetern, rekonstruiert werden (Abb. 1). Ebenso konnte ein großer Spalt zwischen den Incisivi rechts und links korrekt überbrückt werden. Sodann wurden die fehlenden Zähne im Imaging-Verfahren durch Metallkeramikronen ersetzt, so daß eine vollständige biomechanische Rekonstruktion des Gesamtunterkiefers zum ersten Male möglich war. Es stellte sich durch diese Neuanpassung heraus, daß die Kiefergelenkköpfchen (Caput mandibulae) unterschiedlich ausgeprägt sind. Wie bereits aus der Analyse der Abrasionsflächen der Zähne zu erwarten war, sind die funktionell beanspruchten Gelenkflächen nach rechts hin verlagert. Die morphologische Form der Kondylen läßt sich anatomisch durchaus im Bereich des heutigen Menschen einordnen, was natürlich nicht für die Größe gilt. Form, Dimension und Lage der Processi coronoides unterscheiden sich jedoch sehr vom »anatomisch modernen« Menschen, da die Breite des Ramus des *Homo erectus* bei weitem die des heutigen Menschen übertrifft. Am rechten Kiefergelenkfortsatz sind Form und Position des Kiefergelenkköpfchens symmetrisch angeordnet und ohne pathologische Auffälligkeiten, während der linke Processus articularis unregelmäßig ausgebildet ist und sich deutlich vom rechten unterscheidet. Der mediale Abhang der Gelenkflächen ist abgeflacht und stark abgenutzt. Dieser Befund entspricht der Positionsabweichung der Mandibula,

wie sie bei der Abrasion der Kauflächen der Molaren festgestellt wurde. Zusätzlich verstärkt wird die Abweichung der Mandibulaposition nach rechts von der Kippung des linken Processus condylaris nach rechts. Man erkennt diese Neigung des Gelenkfortsatzes am deutlichsten, wenn man seine Position von posterior in der Ebene des aufsteigenden Ramus betrachtet. Die Medialkipfung des Gelenkfortsatzes zeigt auf der linken Seite einen deutlichen Unterschied zur Position des Gelenkfortsatzes der rechten Seite. Eine Betrachtung der Gelenkflächen der Condyli articulares ergibt nicht nur eine Abflachung der medialen Abhänge des linken Condylus, sondern auch eine deutliche Vertiefung der medialen Artikulationsfläche. Bei der Mandibula ist also eindeutig eine arthrotische Veränderung festzustellen, die in keiner Weise auf Lagerungsverhältnisse des Fossils zurückzuführen ist. Die Veränderung ist links stärker ausgeprägt als rechts.

Eine Ganzrekonstruktion aller Zähne und genaue Anpassung der linken und rechten Zahnreihe durch ergänzte Metallkeramikronen erfolgte unter dem Aspekt einer gesamtmorphologischen Rekonstruktion.

Neue micromorphologische Ergebnisse

Eine detaillierte REM-Untersuchung an den separaten Molaren des Fundes aus Mauer ergab, daß sich die Prismen in ihrer »Schlüsselform« gut in die bisher bekannten Evolutionsgruppen, von Ramapithecus bis zum heutigen »anatomisch modernen« Menschen einreihen lassen. Sie sind klar im hominiden Bereich einzuordnen. Jeder Fachmann weiß, daß eine derartige Untersuchung nondestruktiv ist und gute evolutionstheoretische Aussagen zuläßt. Durch eine detaillierte computertomographische Untersuchung konnte die Schmelzdicke, die über der des heuti-



Abb. 4: CT-Aufnahme, Canalis mandibularis mit Compacta-Umwallung.



Abb. 5: CT-Aufnahme, 5-Schichtung der Compacta, Fragment im Wurzel-P3-Bereich, rechts.

gen Menschen liegt, relativ genau bestimmt werden. Auffallend waren außerdem die Größe der Pulpahöhlen der Praemolaren und Molaren, die ebenso mit CT bestimmt wurden und an die Größe der späteren *H. s. neanderthalensis* erinnern.

Einmalig jedoch ist die Konfiguration und der Aufbau der Compacta. Beim heutigen Menschen kann man im Höchstfall eine Dreierschichtung feststellen während bei der Mandibula von Mauer eine Fünferschichtung zu erkennen ist. Diese liegt in ihrer Gesamtdicke weit über der des heutigen Menschen. Fast alle bisher untersuchten Schichten des Neurocraniums von *Homo erectus*-Calotten weisen darauf hin, daß Lamina externa wie auch Lamina interna in ihrer Stärke andere Gruppen fossiler Hominiden bei weitem übertreffen und auch im Verhältnis zu diesen Teilen die Diploe relativ dünn ist. Bisher war es schwer, separat aufgefundene Mandibulae dem Neandertaler oder *Homo erectus* zuzuordnen. Das neue Charakteristikum einer extrem dicken und fünfschichtigen Compacta ermöglicht es nun, auch eine Zuordnung von Mandibula-Einzelfunden vorzunehmen. Diese Fünfschichtigkeit kann nicht durch eine vielleicht einzigartige Fossilisation erklärt werden, da die äußerste Schicht der Corticalis, wie schon erwähnt, einen extrem niedrigen Fossilisationsgrad vorweist. Die Schichten 1, 3 und 5 sind in ihrer Struktur gleichartig, wie auch die Schichten der Corticalis 2 und 4.

Ein weiterer ungewöhnlicher Befund ist die Konfiguration, Lage und Verlauf des Canalis mandibularis (Abb. 3). Vom Eingang am Foramen mandibularis läuft er weitaus flacher als beim heutigen Menschen in Richtung Angulus mandibulae und dann relativ geradlinig im Corpus mandibulae zum Foramen mentale. Die Größe des Canalis mandibulae beträgt das Vierfache des »anatomisch modernen«

Menschen. Das Foramen mentale ist auf jeder Seite zweifach angelegt und ist in seiner Position hinter dem P4 und vor dem M1. Beim »anatomisch modernen« Menschen ist es mesialer lokalisiert und liegt direkt unter dem P4.

Die Vermessung der Einzelzähne ergab, daß sie als Gruppen im postcaninen Bereich eine größere Flächendimension aufweisen als bei *H. s. sapiens* (Tab. 1). Die Pulpahöhle ist in ihren Ausmaßen in den Molaren fast taurodont. Die Wurzeln sind in ihrer Größe gleich oder sogar größer als der Kronendurchmesser. Der Fossilisationsgrad des Enamelums ist nicht weit fortgeschritten, während das Dentin in etwa den gleichen Grad wie das übrige osteologische Material aufweist (Schichten 1, 3 und 5). Dieser entspricht einem Anfangsstadium einer Fossilisation und man ist deshalb überrascht von diesem geringen Fossilisationsgrad, wenn man an ein geschätztes Alter zwischen 450 000 bis 700 000 Jahren B. P. denkt. In der Pulpahöhle kann man im CT hyperdense Partikel erkennen, die wahrscheinlich kleine Quarzpartikel sind (Abb. 5).

Ebenso ist im CT zu erkennen, daß die alte Zusammensetzung im Symphysenbereich bis zu 2 mm auseinanderklafft, von einer Masse von Schellack verklebt ist und horizontal beide Kieferhälften falsch orientiert wurden. Dadurch entstand eine inkorrekte Interpretation betreffs Kauflächen und der occlusalen Biomechanik. Vergleicht man die Robustizität der Zahnwurzeln mit *Sinanthropus*, so liegt der Heidelberger sogar etwas über diesem. Eine Computervermessung der Zahngröße ist in Tabelle 1 aufgeführt (WEIDENREICH 1937).

Wie schon oben erwähnt, schienen die REM-Aufnahmen zu zeigen, daß das aus dem Inneren des Canalis mandibulae teilweise entfernte Material als organische Substanz klassifiziert werden könnte. Es unterscheidet sich in seiner Struktur klar von Schellack, Ponal und anderen Konser-

Tab. 1: Vergleichende Zahnmaße

Zahngröße: Incisivi

	Mauer	(PvZ)	Mauer	(Schoe)	Australier		Merowinger	
	R	L	R	L	R	L	R	L
I₁								
mesio-distal	5.81	5.65	5.5	5.0	-	-	5.07	5.07
bucco-lingual	7.61	7.43	7.1	7.1	-	-	6.60	6.60
I₂								
mesio-distal	6.29	6.42	6.0	6.3	-	-	5.73	5.73
bucco-lingual	8.27	8.07	7.8	7.7	-	-	7.48	7.48

Zahngröße: Caninus und Praemolares

	Mauer	(PvZ)	Mauer	(Schoe)	Australier		Merowinger	
	R	L	R	L	R	L	R	L
C								
mesio-distal	7.82	7.83	7.6	7.7	-	-	6.63	6.63
bucco-lingual	9.40	9.37	9.0	9.0	-	-	7.92	7.92
P₃								
mesio-distal	8.13	9.0?	8.1	7.3	-	-	6.42	6.42
bucco-lingual	9.23	-	9.0	-	-	-	7.34	7.34
P₄								
mesio-distal	8.32	-	7.5	-	-	-	6.56	6.56
bucco-lingual	9.18	-	9.2	-	-	-	7.65	7.65

Zahngröße: Molares

	Mauer	(PvZ)	Mauer	(Schoe)	Australier		Merowinger	
	R	L	R	L	R	L	R	L
M₁								
mesio-distal	12.42	11.94	11.6	11.1	12.3	12.2	10.9 ± 0.73	10.9 ± 0.73
bucco-lingual	11.80	11.36	11.2	-	11.5	11.4	10.4 ± 0.54	10.4 ± 0.54
M₂								
mesio-distal	13.47	13.03	12.7	12.9	12.5	12.5	10.3 ± 0.59	10.3 ± 0.59
bucco-lingual	12.43	11.96	12.0	?	11.5	11.5	10.0 ± 0.47	10.0 ± 0.47
M₃								
mesio-distal	12.66	12.33	12.2	11.5	11.9	11.8	10.6 ± 0.68	10.6 ± 0.68
bucco-lingual	11.15	10.98?	10.9	11.3	10.6	10.5	9.9 ± 0.46	9.9 ± 0.46

Tab. 2: Relative microanalytische Datierung der Mandibula von Mauer

Material	F%	Uppm	N%
<i>Homo erectus</i>			
Mandibula	1,1	6	0,08
Os frontale	1,26	8	0,11
Fauna			
<i>Dicerorhinus etruscus</i>	2,2	15	-
<i>Palaeoloxodon antiquus</i>	2,1	11	0,12

vierungsmitteln. Da es am Foramen mentale wie auch am Foramen mandibularis durch kristallartigen Sinter fast luftdicht im Innern des Canalis eingeschlossen war, könnte unter diesen ungewöhnlichen Erhaltungszuständen eventuell für eine extrem lange Konservierung des Materials (Vene, Arterie, Nerv) argumentiert werden. Zu einem späteren Zeitpunkt ist es jederzeit möglich, mit einer Sonde weiteres Material zu entnehmen und eine DNA-Analyse durchzuführen. Nach Entfernung der über viele Jahre hinweg aufgetragenen Konservierungsmittel, konnten unzählige Risse im Knochen erkannt werden. Diese wurden bisher übersehen, da wahrscheinlich kein Spezialmikroskop für eine detaillierte Microanalyse zur Verfügung stand. Nach Entfernung dieser machte der Knochen einen fast frischen und minimalst fossilisierten Eindruck. Die 1964 von OAKLEY (OAKLEY, CAMPBELL & MOLLESON 1971) entnommenen Knochenproben, die sich noch im British Museum (Natural History) befinden, konnten bisher keine genaue Auskunft über Anteile der organischen und anorganischen Substanz geben. An ihnen wurde in den 60er Jahren nur eine Microanalyse durchgeführt (Tab. 2). Durch Aminosäuren-Datierung könnte zumindestens eine relativ genaue Altersangabe gemacht werden. Der ungewöhnlich »geringe« Fossilisierungszustand wäre ähnlich wie beim Fund von Kelsterbach (PROTSCH VON ZIETEN 1978) vielleicht dadurch zu erklären, daß die abgeschwemmte Mandibula in einem versumpften Seitenarm des Neckars für einige Zeit unter anaeroben Bedingungen lagerte. Ein Teilfragment eines Os frontale, das neben der Mandibula 1907 gefunden worden war und von einem Sammler in München dem Autor 1975 zur Verfügung gestellt wurde, zeigt bei Dünnschliff-Polarisationsmikroskopischen Analysen einen ungewöhnlich hohen Anteil an organischer Substanz, bei der fast ganze Kollagenstränge erhalten sind. Eine Aminosäuren-Datierung, durch eine geschätzte Palaeotemperaturberechnung natürlich nur rein »relativ« anzuwenden, deutet auf ein Alter von 200 000 bis 450 000 Jahren B. P. hin. Die FUN-Daten assoziieren das Os frontale-Fragment mit der Mandibula.

Es sollte hier noch erwähnt werden, daß die dem Knochen aufliegenden Konservierungsmittel mit Äthanol, Aceton und Brennspritus, nach mechanischer Entfernung vom Knochen, reagierten. Nach Entfernung der aufliegenden Quarzkristalle am Eingang zum Canalis mandibularis reagierten die entnommenen organischen Proben jedoch nicht mit diesen Lösungsmitteln.

Zahnmaße

In der Literatur wurde in der Vergangenheit immer wieder darauf hingewiesen, daß sich die Zahnmaße des *H. erectus* aus Mauer kaum oder nicht von denen des heutigen Menschen unterscheiden. Genauere Recherchen ergaben, daß in den letzten dreißig Jahren Spezialisten kaum mehr als zwei Stunden auf die Untersuchung der Mandibula verwendeten und demzufolge keine genaueren Maße genommen werden konnten. Wir verglichen nach Rekonstruktion und Neuaufsetzen der abgebrochenen Zahnkronen, die Maße von SCHOETENSACK (1908) mit australischen Aborigines und einem robusten männlichen Merowinger (s. Tab. 1), den wir unter ca. 10 000 gut erhaltenen Gebissen aussuchten. Die Unterschiede der hiesigen Maße zu SCHOETENSACK sind darin begründet, daß damalige Vermessungsgeräte keine genauen Vermessungen zuließen und außerdem durch die oben erwähnten Frakturen im Zahnkronenbereich einiger Zähne, bei denen natürlich die Klebsubstanz die Zahnmaße zusätzlich verfälschte. Enamelum-Hypoplasien konnten ebenfalls erkannt werden und werden in einer späteren Publikation genauer beschrieben (ECKHARDT & PROTSCH V. ZIETEN 1993). In den Gesamtoberflächenmaßen liegt im Incisivi-Bereich Mauer fast um ein Drittel über dem »anatomisch modernen« Menschen und im Caninus-Bereich ebenso. Im Praemolaren-Bereich, wie auch im Molaren-Bereich, liegen die Maße um etwa ein Viertel bis zu einem Drittel über denen des heutigen Menschen. Den höchsten Größenunterschied weist der Caninus auf. Betreff der Kronenhöhe sind die Unterschiede zum heutigen Menschen beträchtlich, obwohl im Bereich der vorderen Zähne der Abkautungsgrad nicht berücksichtigt oder berechnet wurde (siehe auch RUNGE 1977, PUECH et al. 1980). Bei allen Incisivi und Canini ist das Enamelum bis zum Dentin abgekaut, so daß 2 mm bis 2,5 mm Kronenhöhe fehlen. Hier liegen die rekonstruierten und aktuellen Maße der Zahnhöhe um mehr als ein Drittel über denen des heutigen Menschen.

Computer-Tomographie

Die Studie wurde an einem Somatom Plus VD 3.0 von Siemens durchgeführt. Bei einer Röhrenspannung von 120 kV wurden sowohl 2 mm dicke Schichten mit 170 mAs als auch 1-mm-Schnitte mit 330 mAs im ultrahohen Algorithmus angefertigt. Die Dokumentation erfolgte mit einem Center von 1100–1200 HU und einem Window von 4000 HU. Entsprechend der anthropologischen Fragestellung wurden beidseits folgende Parameter ermittelt:

Lokalisation	Parameter
1. Incisivus, Caninus 2. Prämolare, 2. Molar	Schmelzdicke, Kronen- und Wurzellänge
Caninus, Foramen mentale, 2. Molar, Collum mandibulae	caudale, linguale und labiale bzw. buccale Compactadicke
1. Molar, 2. Molar, Trigonum retromolare	Querdurchmesser und Höhe des Canalis mandibulae

Die Mandibula wurde auf einer beweglichen Unterlage fixiert. Nach Anpassung der Gantrykipfung und Ausrichtung des Kiefers, entsprechend der Neigung der Zahnachse, wurden 1-mm-HR-Schnitte senkrecht zur Occlusionsfläche angefertigt.

Die Corticaldicken wurden senkrecht zu den zur Außenkontur des Corpus mandibulae verlaufenden Schichten vermessen. Zur Untersuchung des Canalis mandibulae wurde die Winkelabweichung seines Verlaufs von der Sagittalebene bestimmt und Quer- bzw. Längsschnitten des Kanals erstellt.

Zusammenfassung der neuen micromorphologischen Ergebnisse

Es konnten eine Anzahl bisher noch nicht bekannter Details erforscht werden. Als erstes seien die unzähligen Zahnfrakturen erwähnt, die bisher zu einer falschen Interpretation der Occlusionsebene führten. Dasselbe gilt für die Einschlüsse in den Zahnhohlräumen und im Canalis mandibulae, den Dentinverdickungen und Unregelmäßigkeiten in den Pulpahöhlen. Hierbei kamen einige morphologische Besonderheiten, die bezeichnend für diesen phylogenetischen Typus sind, zum Vorschein. Das herausragende Ergebnis dieses Typus, des *Homo erectus*, ist die fünfgeschichtige Corticalis und die knöchern Begrenzung des Canalis mandibulae.

Die Zahnprismen sind ähnlich denen aller Hominiden, also schlüsselförmig. Ebenso scheint der Fossilisationsgrad für die bisher angegebene Zeitperiode einmalig minimal zu sein, mit einem wahrscheinlich noch hohen Anteil von Kollagen.

Zusammenfassung der neuen macromorphologischen Befunde

Der Ramus der Mandibula ist erheblich breiter als der eines heutigen Menschen, ein doch signifikanter Unterschied, der sich auch drastisch von *Homo sapiens neanderthalensis* unterscheidet und als Species-spezifisch zu bezeichnen ist.

Die Relation der Ramusbreite und Höhe ist fast exakt übereinstimmend mit *Sinanthropus pekinensis* (*H. e. pekinensis*) (WEIDENREICH 1937). Das gleiche gilt für den Corpus. Der Durchmesser von Ramus und Corpus liegt außerhalb der Werte von *H. s. sapiens* und nähert sich denen des *H. s. neanderthalensis*. Die Zahnmaße, liegen, wie oben erwähnt, über denen des *H. s. sapiens*. Wie im CT ersichtlich (Abb. 7), ist auch die Größe und der Verlauf des Canalis mandibulae Species-spezifisch für *Homo erectus*. Neu sind ebenso die Beobachtungen am Processus condylaris, die pathologisch begründet sind. Das Zahnwurzel-Zahnkronenverhältnis ist ebenso einmalig und bezeichnend für diese Gruppe von Hominiden, wie auch die spezielle Morphologie der Zähne P3 und M2 links, die noch in einer detaillierten Monographie beschrieben werden.

Der Canalis mandibulae dieses *Homo erectus* weist beidseits einen deutlich größeren Durchmesser (Breite: 3,3–4 mm,



Abb. 6: CT-Aufnahme, 5-Schichtung der Compacta, Wurzelfraktur, P4.

Höhe: max. 4,0 mm) als der eines Merowingers (Breite: 2,3–3,1 mm, Höhe max. 2,9 mm) auf.

Beim Merowinger ist der Kanal zwar größtenteils von Spongiosabälkchen umrahmt, nach oben ist jedoch die Abgrenzung zum Teil schwierig. Der Canalis mandibulae des Mauer Unterkiefers ist dagegen von einer relativ kräftigen Knochenschicht umgeben (Abb. 4). Im Inneren des Kanals finden sich viele Partikel, die sich als noch erhaltene organische Substanz, also Kollagenstruktur nach Untersuchung im REM erwiesen. Ebenso waren einige Quarzkristalle klar erkennbar. Die Corticalis ist in fünf computertomographisch voneinander abgrenzbar erkennbare Schichten unterteilt (Abb. 6), während beim Merowinger-Unterkiefer nur drei Schichten erkennbar sind.

Die Corticalis des Heidelberger Unterkiefers ist vor allem in den caudalen Anteilen bis zu dreimal so dick im Vergleich zum Merowinger (max. 10,3 mm gegenüber max. 3,4 mm). Die Schmelzdicke variiert im Bereich der Molaren beider Unterkiefer relativ stark. Bei *Homo erectus* ist der Schmelz an den Zahnhöckern teilweise vollständig abradiert, rechts ausgeprägter als links.

Die Zahnwurzellängen sind im Bereich der Molaren des *H. e. heidelbergensis* um bis zu 5 mm länger. Die Höhe der Zahnkronen zeigt keine erhebliche Differenz.

Die Dentinschicht mehrerer Zähne weist beim *H. e. heidelbergensis* Verdickungen auf, die rechts stärker ausgeprägt sind als links. Beidseits zeigen die Pulpahöhlen unregelmäßige Begrenzungen und unregelmäßige Durchmesser. Beim Merowinger-Unterkiefer dagegen ist die glatte Begrenzung der Pulpahöhle und die gleichmäßige Breite des Dentins erhalten.

Die CT's des *H. e. heidelbergensis* konnten insgesamt neun frakturierte Zähne nachweisen und den jeweiligen Frakturverlauf dokumentieren (Abb. 2, 3, 6). Im unteren Wurzel-

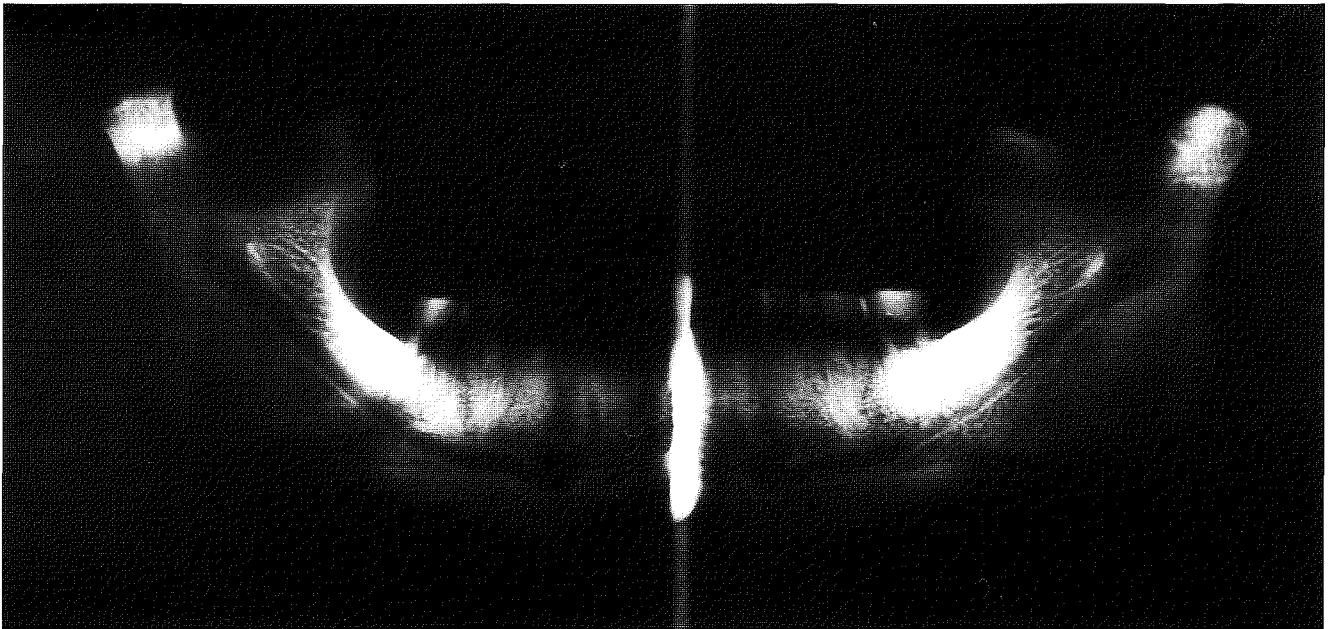


Abb. 7: Röntgen-Aufnahme, Innenbereich Mandibula, Verlauf des Canalis mandibularis.

kanal des 4. Prämolaren rechts finden sich mehrere Partikel mit einer Dichte bis über 3000 HU, die mit den Werten des Schmelzes vergleichbar ist.

Im Gegensatz zu konventionellen Röntgentechniken kann die CT Corticalis- und Zahnstrukturen ebenso wie die genaue anatomische Beschaffenheit des Canalis mandibulae differenzieren und so exakte Messungen der Strukturen ermöglichen.

Aus dem rechtsseitig höherem Abrasionsgrad sowie aus den Veränderungen von Dentin und Pulpa ist ersichtlich, daß der *H. e. heidelbergensis* die rechte Seite des Kiefers stärker benutzt hat als die Gegenseite. Als Ursache hierfür kann eine Verletzung oder Mißbildung der linken Gesichtshälfte diskutiert werden.

Die Partikel in den Hohlräumen der defekten Zähne entsprechen den Schmelzpartikeln in den Hohlräumen der unbeschädigten Zähne. Sie könnten entweder eingedrungene Quarzkristalle oder Residuen des eingedrungenen Schmelzes sein, die entzündliche Veränderungen in der Pulpaöhle hervorriefen.

Die deutlich dickere Corticalis des Unterkiefers, im Vergleich zum heutigen Menschen, die z. T. längeren Zahnwurzeln und der größere Durchmesser des Canalis mandibulae sowie die 5-Schichtung der Corticalis geben neben der Gesamtgröße und Form des Unterkiefers Hinweise über die unterschiedliche Cranialmorphologie dieses Entwicklungstyps (Abb. 5, 6, 7).

Die besonders starke und gleichmäßige knöcherne Begrenzung des Canalis mandibulae stellt eine anthropologische Sensation dar (Abb. 4). Ihre Bedeutung im Rahmen der menschlichen Entwicklungsgeschichte ist Ziel weiterer Untersuchungen. Da bisher noch keine Unterkiefer dieser fossilen Hominidengruppe untersucht wurden, kann man davon ausgehen, das Species-spezifisch alle Funde des

H. erectus diese knöcherne Begrenzung aufweisen könnten. Bekannt sind die besonderen strukturellen Besonderheiten im Schädelbereich des *H. erectus*, wo Lamina externa und Lamina interna in ihrer Stärke, verglichen mit dem »anatomisch modernen« Menschen, weit über dem Letzteren liegen.

Die chronologische Einordnung von Mauer

Wie schon erwähnt, ist eine geologisch-chronologische Schätzung der Mandibula von Mauer derzeit als sehr relativ anzusehen. Die R4-Datierung ordnet den Fund zwischen 300 000 bis 450 000 Jahren B. P. ein. Die Mandibula kann relativ gut an den Fund OH-9 angepaßt werden. Dieser datiert jedoch, wiederum relativ-geologisch, auf etwas über 700 000 bis 1 Million Jahre B. P. Vergleicht man diese Calvaria mit der Rekonstruktion von Bilzingsleben, so sieht man, daß sich beide fast wie Zwillinge gleichen mit einer nur geringen Cranialkapazitätsdifferenz von ca. 100 ccm. Bilzingsleben kann relativ gut anhand der Geologie, Flora und Fauna zwischen 280 000 und 320 000 Jahren B. P. eingeordnet werden. Die relative R4 Schätzung der Mandibula von Mauer liegt also zwischen 280 000 bis 1 Million Jahre B. P.

Ein Vergleich der microanalytischen Ergebnisse der Fragmente des Os frontale mit den Ergebnissen von OAKLEY (1971) weist darauf hin, daß beide Funde, Os frontale-Fragment und Mandibula, zeitlich gleich einzuordnen sind. Beide sollen auch stratigraphisch assoziiert gewesen sein, was klar aus den FUN-Ergebnissen ersichtlich ist (s. Tab. 2).

Die Aminosäuren-Datierung (Isoleucin) ergab mit einer gut geschätzten Palaeotemperaturberechnung ein Alter zwischen 300 000 und 450 000 Jahren B. P. Die morpholo-

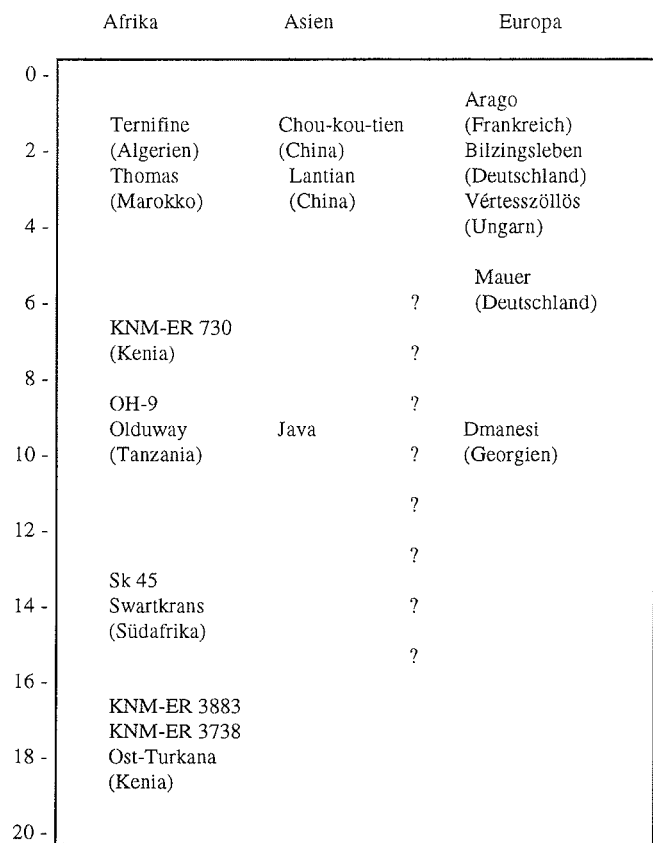
gische R4 Analyse ergab im Vergleich zu Funden aus Chokoutien (Sinanthropus), daß fast alle morphologischen Maße auch diesen entsprechen. Zeitlich werden die letzteren zwischen 250 000 bis 400 000 Jahren B. P. eingeordnet.

Zusammenfassung

Der Heidelberger Unterkiefer wurde neunzig Jahre nach seinem Auffinden mit fast allen heute bekannten Untersuchungsmethoden analysiert. Die R4-morphologische Einordnung ordnet diesen Fund eindeutig der *Homo erectus*-Gruppe zu, es fehlt jedoch noch eine der wichtigsten Analysen, eine absolute chronometrische Bestimmung. Wenn man bedenkt, daß *Homo erectus* in einer Zeitperiode von vor 1,8 Mill. bis 200 000 Jahren B. P. lebte, wäre es schon wichtig, genauestens einzelne Funde dieser Gruppe einzuordnen. Ist der Heidelberger ein früher, mittlerer oder später *Homo erectus*? Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist keiner der möglichen *H. erectus* Funde in Europa absolut datiert und die Kenntnis der Immigrationszeit von Afrika nach Asien und Europa fehlt. Schlechte Ausgrabungsdetails und geologisch/relative Einordnungen von Fossilien (z. B. Dmanesi) verhindern eine korrekte zeitliche Einordnung und gehen oft vom Wunschgedanken eines möglichen »alten« Fossils aus. Relativ geologisch sicher ist derzeit in der europäischen *Homo erectus* Gruppe nur Bilzingsleben, abgesichert durch sehr gute Ausgrabungsdetails und assoziierte faunale und florale Funde zwischen 280 000 und 320 000 Jahren B. P. Etwas schlechter verhält es sich bei Arago, obwohl auch hier Ausgrabungen in exzellenter Weise durchgeführt wurden. Vertesszöllös, in Ungarn, ist ähnlich wie der Dmanesi Fund und kaum zeitlich sicher einzuordnen. Morphologische Analysen, durchgeführt von CZARNETZKI und dem Autoren ordnen ebenfalls den Fund aus Reilingen, Baden-Württemberg, als *Homo erectus* ein. Morphologisch (R4-Datierung) weist er einige Charakteristika auf (CZARNETZKI 1989, 1994), die ihn wahrscheinlich in die Endperiode der Existenz von *Homo erectus*, also um ca. 200 000 Jahre plazieren.

Speziell beim Heidelberger, wie auch bei allen Funden zwischen 200 000 Jahren B. P. und 1,2 Mill. Jahren, könnte die Anwendung von Aminosäuren-Datierung eine genauere chronologische Position des Fundes bewerkstelligen. Eine Knochenprobe von Mauer befindet sich noch im Museum von London. Auch eine weitere Entnahme von Milligramm im inneren Symphysenbereich wäre zur Datierung möglich (BADA & PROTSCH v. ZIETEN 1973, BADA, SCHROEDER & PROTSCH v. ZIETEN 1974). Da die microanalytischen Ergebnisse der Mandibula von OAKLEY (1971) mit den Ergebnissen des Fragmentes des Os frontale fast übereinstimmen (Tab. 2), kann man relativ/absolut eine zeitliche Einordnung der assoziierten Funde zwischen 300 000 bis 450 000 Jahren B. P. annehmen. Eine relative geologische Zuordnung zu einem bestimmten Stratum ist unwahrscheinlich, da die Mandibula wahrscheinlich sekundär in einem Sumpfbereich abgelagert wurde und demzufolge eine geostratigraphisch-chronologische Zuordnung unmöglich ist.

Homo erectus - Chronologie



t [10⁵ a B.P.]

Afrikanische Funde:	<i>H. e. leakeyi</i>	(<i>H. e. africanus</i>)
Asiatische Funde:	<i>H. e. erectus</i>	(<i>H. e. asiaticus</i>)
	<i>H. e. pekinensis</i>	(<i>H. e. asiaticus</i>)
Europäische Funde	<i>H. e. heidelbergensis</i>	(<i>H. e. europaeus</i>)
	<i>H. e. hungaricus</i>	(<i>H. e. europaeus</i>)
	<i>H. e. bilzingslebenensis</i>	(<i>H. e. europaeus</i>)
	<i>H. e. tautavelensis</i>	(<i>H. e. europaeus</i>)

Es gibt nur wenige Funde in Mitteleuropa, die zeitlich, wie auch stammesgeschichtlich, in den Bereich des *Homo erectus* oder *Homo sapiens neanderthalensis* eingereiht werden können. In Europa existieren nur wenige hominide Fossilien, die absolut datiert wurden. Zu diesen gehört auch der hier beschriebene Fund aus Mauer bei Heidelberg, der von Optimisten geologisch relativ zwischen 450 000 und 700 000 Jahren B. P. eingeordnet wird. Hier orientiert man sich im ältesten Bereich an der palaeomagnetischen Reversion um ca. 700 000 Jahren, die in einer Strate etwas unterhalb des Fossils vielleicht zu erkennen ist.

Andere Funde wie z. B. *Homo erectus* aus Arago (Tautavel), Bilzingsleben und Reilingen datieren »relativ« viel rezent. Die Interpretation des Fundes aus Georgien (Dmanesi) auf mehr als eine Million Jahre ist mit besonderer Skepsis zu betrachten, da keinerlei Material zur absoluten Datierung vorliegt und eine doch zweifelhafte geomorphologische Datierung vorgenommen wurde. Eine genaue Einordnung von vielen bekannten Hominiden-Funden in

chronologische Sequenzen ist deshalb derzeit unmöglich. Es kann nur eine R4-Datierung vorgenommen werden, also eine Einordnung anhand der Morphologie in eine bestimmte Gruppe von Hominiden. Ein morphologischer Grenzbereich scheint um ca. 200 000 Jahren B. P. zu existieren, der Übergang vom *Homo erectus* in den *Homo sapiens neanderthalensis*. Funde wie Steinheim und Petralona scheinen hier gut einpaßbar.

Im Gegensatz zu den verschiedentlich in der Literatur der 80er und 90er Jahre erwähnten Interpretationen gibt es tatsächlich für Funde der Gruppe des *Homo erectus* eine klare morphologische Abtrennung zum späteren Neanderthaler. Verschiedenen Spezialisten schien das nomenklatorische Problem fast wichtiger als die Analyse Species-spezifischer Merkmale für die Einordnung von Funden bestimmter Gruppen. So wurden Subspezies-Namen europäischer *Homo erectus*-Funde als *Homo erectus heidelbergensis*, *Homo erectus bilzingslebenensis*, *Homo erectus hungaricus* und *Homo erectus tautavelensis* kreiert, also geographisch eng zusammenliegende Lokationen als unterschiedliche Subspezies aufgeführt. Andere Anthropologen eliminierten in einem Anfall palaeoanthropologischer Liberalisierung nicht nur die Subspeziesbezeichnungen, sondern versuchten, den *Homo erectus* vollkommen aus Europa zu entfernen.

Der Vater der »Physischen Anthropologie« J. F. BLUMENBACH ordnete schon 1775 alle »anatomisch modernen« Menschen allein nach geographisch-kontinentalen Gesichtspunkten ein, also geographische Subspecies wie z. B. *H. s. europaeus*, *H. s. americanus*, *H. s. asiaticus*, *H. s. australasicus* und *H. s. afer*. Obwohl ihm der geographische Ursprung eines »Basis-anatomisch modernen« Menschen noch nicht klar war, erst in den 1970er Jahren wurde dieser in Afrika durch Anwendung absoluter chemisch-physikalischer Methoden lokalisiert (PROTSCH 1973, 1975) und ebenso neuerdings durch DNA-Methoden, gruppiert er diese phylogenetisch-geographisch.

Im Falle *Homo erectus*, der wie oben erwähnt morphologisch auf verschiedenen Kontinenten eine Einheit bildet, sollte man, wie BLUMENBACH, eine ähnliche nomenklatorisch-taxonomische Einteilung in verschiedene geographisch-kontinentale Subspezies vornehmen, also *Homo erectus africanus*, (*H. e. leakeyi*), *Homo erectus asiaticus* (*H. e. erectus*, *H. e. pekinensis*), *Homo erectus europaeus* (*H. e. heidelbergensis*, *H. e. tautavelensis*, *H. e. hungaricus*, *H. e. bilzingslebenensis*).

Unzweifelhaft hat diese Gruppe viele gemeinsame morphologische Merkmale, die sie von anderen vorherigen oder nachfolgenden Hominiden-Gruppen unterscheidet. Sie könnte, wie im Falle des *Homo sapiens*, einfach in verschiedene geographische Subspecies des *Homo erectus* aufgeteilt werden.

Danksagung

Folgenden Institutionen und Individuen möchte ich für ihre finanzielle und anderweitige Unterstützung danken. Als erstes der DFG, die ein Spezialmikroskop zur Verfügung

stellte. Ebenso dem Städtischen Klinikum Darmstadt (CT-Aufnahmen), der Firma Soldenta (CT-Image Rekonstruktion und Metallkeramik-Rekonstruktion) in Mainz, sowie Frau Dr. J. HAMMERL, Herrn Dr. M. SCHMIDT und Frau B. BARCKHAUSEN.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Dr. R. Protsch v. Zieten
Inst. d. Anthropologie u. Humangenetik
Johann Wolfgang Goethe-Univ.
Siesmayerstr. 70
D 60323 Frankfurt/Main

Dr. Dr. Dr. Ch. Foitzik
Nieder-Ramstädter-Str. 18
D 64283 Darmstadt

Literatur

- BADA J. L. & R. PROTSCH (1973): Racemization Reaction of Aspartic Acid and Its Use in Dating Fossil Bones. In: Proceedings of the Natural Academy of Sciences USA, 70, 1331–1334.
- BADA J. L., SCHROEDER, R. A., PROTSCH, R. & R. BERGER (1974): Concordance of Collagen-Based Radiocarbon and Aspartic-Acid Racemization Ages. In: Proceedings of the Natural Academy of Sciences USA, 71, 914–917.
- BLUMENBACH, J. F. (1775): De Generis Humani varietate nativa, Diss. Göttingen.
- CZARNETZKI, A. (1989): Ein archaischer Hominiden Calvariarest aus einer Kiesgrube in Reilingen, Rhein-Neckar-Kreis. Quartär 39/40, 191–201.
- CZARNETZKI, A. (1994): Morphological Variability of *Homo erectus* as an Indication of Genetic Predisposition of Phylogenetic Changes. CFS 171, 295–298.
- ECKHARDT R. B. & R. PROTSCH v. ZIETEN (1993): Enamel Hypoplasias as Indicators of Developmental Stress in Pongids and Hominids. Human Evolution 8, 93–99.
- FOITZIK CH. & R. PROTSCH v. ZIETEN (1996): Der Fund von Mauer (*Homo erectus heidelbergensis*) und seine odontologische Bedeutung. Der Hessische Zahnarzt, D 2654, 4. April 1996, 190–196.
- KRAATZ, R. (1985 a): A Review of Recent Research on Heidelberg Man – *Homo erectus heidelbergensis*. In: E. DELSON (Hrsg.): Ancestors: The Hard Evidence, Alan R. Liss Inc., New York, 268–271.
- KRAATZ, R. (1985 b): Recent Research on Heidelberg Jaw – *Homo erectus heidelbergensis*. In: Ph. TOBIAS (Hrsg.): Hominid Evolution: Past, Present and Future, Alan R. Liss Inc., New York, 313–318.
- KRAATZ R. & G. A. WAGNER (1995): Der »Mensch von Mauer« hat viel zu erzählen. Rhein-Neckar-Zeitung Nr. 69, 23. 03. 1995, 3.
- OAKLEY K. P., CAMPBELL, B. G. & T. D. MOLLESON (1971): Catalogue of Fossil Hominids. Part II, Europe. Trustees of British Mus. (Nat. Hist.), London, 197.
- PROTSCH, R. (1973): The Dating of Upper Pleistocene Subsaharan Fossil Hominids and Their Place in Human Evolution:

- With Morphological and Archaeological Implications. Diss. UCLA.
- PROTSCH, R. (1975): The Absolute Dating of Upper Pleistocene Subsaharan Fossil Hominids and Their Place in Human Evolution. *Journ. Human Evol.* 4, 297–322.
- PROTSCH, R. & A. SEMMEL (1978): »Zur Chronologie des Kelterbach-Hominiden, des ältesten Vertreters des *Homo sapiens sapiens* in Europa«. *Eiszeitalter und Gegenwart* 7, Nr. 2, 101–109.
- PROTSCH v. ZIETEN, R. (1992): Der Unterkiefer (Mandibula) von Mauer (*Homo erectus heidelbergensis*) in: BEINHAEUER, K. W. & G. A. WAGNER (Hrsg.): Schichten von Mauer (85 Jahre H. e. h.), Brauns-Verlag Mannheim, 36–45.
- PUECH P. F., PRONE, A. & R. KRAATZ (1980): Microscopie de l'usure dentaire chez l'Homme fossile: bol alimentaire et environnement. *Comptes Rendues de l'Académie des Sciences Paris* 290, Ser. D, Paris, 1413–1416.
- RUNGE, B. (1977): Morphologische Untersuchungen der Zahnkronen der Funde von Mauer, Oberkassel, Bad Nauheim und Trebur. In: U. SCHÄFER (Hrsg.): Beiträge zur Odontologie paläolithischer, meso- und neolithischer Menschenfunde, Gießen.
- SCHOCH, O. (1943): Parodontose am Unterkiefer von Mauer? *Anthropologischer Anzeiger* 19, 73–75.
- SCHOETENSACK, O. (1908): Der Unterkiefer des *Homo heidelbergensis* aus den Sanden von Mauer bei Heidelberg. Ein Beitrag zur Paläontologie des Menschen. Engelmann, Leipzig.
- SOBOTTA, J. (1913): Der Schädel von La Chapelle-aux-Saints und die Mandibula des *Homo heidelbergensis* von Mauer. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 15, 217–228.
- WAGNER G. A., KRAATZ, R. & L. ZÖLLER (1992): Das Alter des frühesten Hominiden in Europa – Der Unterkiefer von Mauer *Homo erectus heidelbergensis*. *Akademie Journal* 2.
- WEIDENREICH, F. (1937): The Dentition of *Sinanthropus pekinensis*, A Comparative Odontography of the Hominids. *Palaeontologica Sinica*, Publ. The Geological Survey of China, Peking, 110.
- WEINERT, H. (1937): Dem Unterkiefer von Mauer zur 30jährigen Wiederkehr seiner Entdeckung. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 37, 102–113.
- WÜST, K. 1951: Über den Unterkiefer von Mauer (Heidelberg) im Vergleich zu anderen fossilen und rezenten Unterkiefern von Anthropoiden und Hominiden, mit besonderer Berücksichtigung der phyletischen Stellung des Heidelberger Fossils. *Zeitschrift für Morphologie und Anthropologie* 42, 1–112.