

Unverkäufliche Leseprobe



Friedemann Schrenk
Die Frühzeit des Menschen
Der Weg zum Homo Sapiens

2019. 128 S., mit 21 Abbildungen und Karten
ISBN 978-3-406-73600-1

Weitere Informationen finden Sie hier:
<https://www.chbeck.de/27076845>

Afrika war die Wiege der Vor- und Frühmenschen und der Ursprungskontinent von *Homo sapiens*. Daher steht Afrika im Zentrum der Wissenschaft von den fossilen Menschen, der Paläoanthropologie. Die Rekonstruktion der komplexen Entwicklungsgeschichte der Menschheit erfordert eine schier unendliche Geduld, um die Reste unserer Vorfahren aufzuspüren und zu bergen, modernste Technik, um sie zu untersuchen, und interdisziplinäre Vernetzungen, um das Puzzle von 7 Millionen Jahren, mehr als 350 000 Generationen, biokultureller Evolution zusammenzusetzen, aus dem sich ein Gesamtbild unserer eigenen Urgeschichte ergibt. Wo und wie Paläoanthropologen arbeiten, welche Erkenntnisse sie bislang gewonnen haben und welche Konsequenzen sich aus den Resultaten ihrer Forschung für die modernen Menschen ergeben, wird in dem vorliegenden Band verständlich und spannend geschildert.

Friedemann Schrenk ist Professor für Paläobiologie der Wirbeltiere an der Goethe-Universität, Leiter der Sektion Paläoanthropologie des Forschungsinstituts Senckenberg in Frankfurt a. M. und Forschungsstellenleiter des Projekts ROCEEH (Role of Culture in Early Expansions of Humans) der Heidelberger Akademie der Wissenschaften. Als einer von wenigen deutschen Wissenschaftlern verfolgt er auf Feldforschungen in Afrika die Spuren der Vor- und Frühmenschen. Als Mitbegründer der URAHA Foundation Germany und des Cultural & Museum Centre in Karonga/Malawi unterstützt er zudem gezielt Ausbildung und Arbeit afrikanischer Wissenschaftler auf dem Gebiet der Paläoanthropologie, um Pflege und Vermittlung des einzigartigen natürlichen und kulturellen Erbes der Entwicklungsgeschichte der Menschen auf dem afrikanischen Kontinent zu fördern.

Friedemann Schrenk

DIE FRÜHZEIT DES MENSCHEN

Der Weg zum Homo sapiens

C.H.Beck

Mit 21 Abbildungen, Farbtafeln und Karten
© für die Schwarz-Weiß-Zeichnungen: Christine Hemm
und A. Marie Rahn

© für die Farbtafeln 2–7: Rodolfo Nogueira

1. Auflage. 1997

2., neu bearbeitete Auflage. 1998

3., neu bearbeitete und ergänzte Auflage. 2001

4., neu bearbeitete Auflage. 2003

5., neu bearbeitete und ergänzte Auflage. 2008

6., grundlegend neu bearbeitete Auflage. 2019

Originalausgabe

© Verlag C.H.Beck oHG, München 1997

Satz: C.H.Beck.Media.Solutions, Nördlingen

Druck und Bindung: Druckerei C.H.Beck, Nördlingen

Reihengestaltung Umschlag: Uwe Göbel (Original 1995, mit Logo),

Marion Blomeyer (Überarbeitung 2018)

Umschlagabbildung: Uwe Göbel, München

Printed in Germany

ISBN 978 3 406 73600 1

www.chbeck.de

Inhalt

1. Chancen und Herausforderungen paläoanthropologischer Erkenntnis	9
Expeditionen in die Vergangenheit	10
Ohne Geologie keine Datierung	12
Wenn Organismen versteinern	16
Paläoumwelt und Human Paleobiomics:	
Das große Ganze	17
Harte Beweise: Paläoanthropologische Sammlungen .	19
Datensicherung: Hightech und Digitalisierung	21
Paläokriminalistik: Genetik und Geochemie	22
Morphologie, Life History & Phylogenie	24
 2. Ursprünge: Die Wurzeln der Homininen	 27
Von Feuchtnasen-, Altwelt- und Menschenaffen . . .	27
Aus Affen werden Menschenaffen	30
Früheste Expansionen: Menschenaffen in Europa . .	31
Ardi & Co.: Ursprünge des aufrechten Gangs	33
 3. Urwelten: Vormenschen in Afrika	 40
Die moderne Paläoanthropologie begann in	
Südafrika	40
Ostafrika wird zum Fossilienparadies	42
Fundlücken werden gestopft	46
Ur-Vormenschen: Lucy und die Menschen vom See .	48
«Montrez-moi vos dents et je vous dirai qui vous êtes»	51
Panafrikanische Varianten der Vormenschen	53
Nussknackermenschen: Große Zähne, starke	
Muskeln	59
Herausforderung Klimawandel: Die biologische	
Lösung	62

4. Urheimat Afrika: Die ersten Urmenschen	64
Auf der Jagd nach den Urmenschen	64
Verzweigte Wurzeln der Gattung Mensch	66
Herausforderung Kimawandel: Die kulturelle Lösung	68
Herausforderung Klimawandel: Die Migrations- lösung	70
Typisch menschlich: Biokulturelle Evolution	71
 5. Umbrüche: Die erste Besiedlung der Alten Welt	 75
Java-Menschen vom versunkenen Kontinent	
Lemurien	75
Apotheken, Höhlen und verschwundene Fossilien . .	77
Die ersten Europäer lebten im Kaukasus	79
Frühmenschenvielfalt in Afrika	81
Wie Frühmenschen die Welt eroberten	84
<i>Out of Africa I</i> : Expansion in neue Welten	94
Höhlen und Inseln:	
Rückzugsgebiete der Frühmenschen	96
 6. Umwege: Vorfahren und Verwandtschaft moderner Menschen	 98
Von Sambia bis Marokko: Frühmenschen setzen sich durch	98
Europa und Asien: Wiegen der Menschheit, die keine waren	100
Divers und erfolgreich: Neandertaler und Denisova- Menschen	103
Neandertaler dachten wie wir	107
Begegnungen mit der Moderne	109
Das Ende der Neandertaler	110
 7. Umdenken: Ein neues Geschichtsbild für <i>Homo sapiens</i>	 111
Afrika: Ursprung der Modernität	111
<i>Out of Africa II</i> : Biologische Variabilität	113

Biokulturelle Diversität	115
Dekonstruktion des Rassismus	118
Erbe der Menschheit: Geschichte verhandeln	119
Danksagung	121
Hinweise auf weiterführende Literatur	122
Register	124



Abb. 2: Prof. Phillip Tobias (1925–2012), Witwatersrand University, Johannesburg, Südafrika, Department of Anatomy, mit *Australopithecus africanus* (Taung-Baby, ca. 1,5 Millionen Jahre alt) (vgl. S. 40)
(Foto: Stephanie Anthoni)

«Was wir als Anfänge glauben nachweisen zu können,
sind ohnehin schon ganz späte Stadien.»
Jacob Burckhardt
(*Weltgeschichtliche Betrachtungen, Einleitung*)

1. Chancen und Herausforderungen paläoanthropologischer Erkenntnis

Die moderne Paläoanthropologie, die Wissenschaft von den fossilen Menschen, basiert auf der Evolutionstheorie und bewegt sich innerhalb der Grenzen der geologischen, biologischen und archäologischen Wissenschaften. Ihr Arbeitsgebiet reicht von den anatomischen und funktionellen Merkmalen bis zu genetischer Variabilität und der dem Menschen eigenen Kulturfähigkeit.

Die Paläoanthropologie arbeitet mit naturwissenschaftlichen Methoden, ist aber dem Wesen nach historisch ausgerichtet. Die wenigen harten Beweise für die Stammesgeschichte des Menschen sind fossile Überreste, meist Knochen und Zähne, die als härteste Bestandteile des Organismus oft gut fossilisieren, falls die geologischen Voraussetzungen hierfür überhaupt gegeben sind. Mit ihrer Interpretation beschäftigt sich die Wissenschaft der Paläontologie.

Es fehlen alle organischen Bestandteile, also beispielsweise Nervenzellen, Muskeln, Blutgefäße, Organe. Es gibt keine Hinweise auf physiologische Vorgänge. Soziale Verhaltensweisen und Traditionen sind ebenso wenig fossilisationsfähig wie Emotionen, etwa Schmerz und Freude, ästhetisches Empfinden oder das Lachen eines Kindes. Auch die Sprache fossilisiert nicht, höchstens anatomische Merkmale der Sprechfähigkeit.

Schon allein unter diesen Gesichtspunkten ist der paläontologische Erkenntnishorizont begrenzt und die Evolution der Menschen von der Paläoanthropologie nur unvollständig nachzuzeichnen. Fossilien tragen außer ihrer stummen Anwesenheit

wenig zu ihrer Interpretation bei. Rekonstruktionen paläoanthropologischer Vorgänge sind immer im weitesten Sinne Hypothesen, die von wissenschaftlichen, aber auch von kulturellen oder politischen Weltbildern beeinflusst sind: Daher geht es nicht um richtig oder falsch, sondern um logisch oder unlogisch, um wahrscheinlich oder unwahrscheinlich. Von einer historischen Wissenschaft, die ohne Urkunden oder überlieferte Objekte mit Inschriften aus historischen Epochen auskommen muss, mehr zu fordern, wäre vermessen.

Die Fossilfunde der letzten Jahre belegen eine große geographische Vielfalt an Vormenschentypen in der Frühzeit des Menschen. Allerdings wurden mit der Vergrößerung der Familie afrikanischer Homininen, unserer frühesten Vorfahren aus der Wiege der Menschheit, die Verwandtschaftsverhältnisse unübersichtlich. So wird auch die Suche nach unserem eigenen Ursprung immer verzweigter. Es ist die Fahndung nach den Vorfahren von Menschenaffen und Menschen, nach der Entstehung des aufrechten Ganges, nach der ersten Expansion aus Afrika, nach dem Beginn der Kultur und nach dem Ursprung der modernen Menschen.

Durch die erhebliche Erweiterung der Datenbasis vor allem auf den Gebieten der Paläoökologie wird ein Zusammenhang zwischen Umweltveränderungen und den entscheidenden Phasen der Menschwerdung in Afrika deutlich. Daher gibt dieses Buch einen Einblick in die Fragestellungen der modernen Paläoanthropologie und zeigt, wie Hypothesen zur biokulturellen Evolution der Menschen entwickelt und getestet werden können.

Expeditionen in die Vergangenheit

Trotz aller Funde fossiler Menschenreste fehlen im Puzzle der Stammesgeschichte der Homininen mehr als 99,99 Prozent der Teile, die unsere Herkunftsgeschichte vollständig belegen könnten. Statistisch gesehen, steht zur Rekonstruktion von 100 Generationen nicht mehr als ein fossiles Knochen- oder Zahnfragment zur Verfügung. Die fossilen Funde sind zeitlich und räumlich nicht gleichmäßig verteilt, es gibt gravierende Fundlücken.

cken. Diese können nur langsam durch paläoanthropologische Feldforschung geschlossen werden.

Die aufwendigen und daher teuren Expeditionen bedürfen gründlicher fachlicher und administrativer Vorbereitungen (zum Beispiel: Einholung der Arbeitserlaubnis im Gastland), die zum Teil mehrere Monate beanspruchen. Die ein- bis mehrmonatigen Geländeaufenthalte sind meist auf die regenfreien Zeiten begrenzt. Da die Einrichtung eines Forschungscamps vor allem in unzugänglichen Gebieten oft schwierig und der Dauerbetrieb zu teuer ist, finden die Arbeiten der beteiligten Wissenschaftler, seien es Sedimentologen (untersuchen Beschaffenheit und Bildung der fossilführenden Schichtlagen), Tektoniker (untersuchen die großräumige strukturelle Geologie eines Gebietes), Paläontologen oder Datierungsspezialisten, im Team statt. Dies hat den Vorteil, dass neu dokumentierte Fundstellen sofort im notwendigen Detail analysiert werden können. Die Dokumentation einer Fossilienfundstelle hat vor allem sicherzustellen, dass Funde exakt örtlich, zeitlich und im geologischen Verband lokalisiert werden. Funde ohne entsprechende Angaben sind wissenschaftlich nahezu wertlos.

Im Zielgebiet einer geplanten Exploration müssen die potentiell fossilhaltigen Sedimentgesteine heute oberflächlich freiliegen. Daher werden die potentiellen Fundgebiete häufig nach typischen Erosionserscheinungen in Satellitenbildern vordefiniert und dann mit Hilfe von Navigationsgeräten in Geländefahrzeugen oder zu Fuß angesteuert. Je nach Vegetationsbedingungen wird die Oberfläche in Teams von bis zu 30 Helfern systematisch Zentimeter für Zentimeter nach Fossilresten abgesucht, die durch die Verwitterung des umgebenden Gesteins freiliegen. *Paläontologische* Grabungen finden statt, wenn die oberflächliche Funddichte sehr hoch ist oder wenn weitere Bruchstücke eines besonders wichtigen Fossils zu erwarten sind. Werden Artefakte (von Menschen geschaffene Gegenstände, zum Beispiel bearbeitete Steine) angetroffen, finden *archäologische* Grabungen statt. Je nach Erhaltungszustand müssen größere Fossilien bereits an der Fundstelle, zum Beispiel durch das Aufbringen einer Gipsmanschette, vorläufig konserviert werden. Bei Gra-

ungen wird das fossilführende Sediment mit Wasser aufgeweicht und, in dieser Weise gelöst, durch mehrere Siebgrößen geschlämmt, um Reste von Kleinsäugetern und anderen mit bloßem Auge kaum sichtbaren Fossilien sicherzustellen.

Alle geborgenen Stücke werden mit Fundnummern versehen. Die Katalogbezeichnungen geben meist die sammlungsverwaltende Institution und die Fundregion wieder. So bezeichnet zum Beispiel in der Katalognummer KNM-ER 1470 für einen *Homo rudolfensis*-Schädel (Abb. 7) vom Ostufer des Turkana-Sees KNM die Institution *Kenya National Museum*, ER die Fundregion *East Rudolf* (heute East Turkana) und 1470 die laufende Inventarnummer.

Ohne Geologie keine Datierung

Die Entstehung von Fossilienlagerstätten ist an die lokalen geologischen Bedingungen geknüpft. Nur wenn ein Ablagerungsgebiet zur Verfügung steht, in dem dort zerfallende oder antransportierte Skelettreste von Sediment überlagert und so vor der weiteren Verwitterung geschützt werden, kann der Fossilisationsprozess in Gang kommen. Potentiell gute Sedimentationsgebiete sind große, langsam absinkende Becken, wie sie beispielsweise im ostafrikanischen Grabenbruch (*Afrikanisches Rift*, Abb. 5) durch das Auseinanderdriften der kontinentalen Erdkruste entstehen.

Eine Freilegung fossilführender Schichten kann auch durch den gezielten Abbau umgebenden Gesteins erfolgen. Ziel solcher teuren Operationen sind allerdings nicht die nur wissenschaftlich wertvollen Fossilien, sondern die Gewinnung kommerziell nutzbarer Bodenschätze oder Gesteine. So erfolgten die Homininenfunde in Südafrika nur deshalb, weil der in den fossilen Höhlen Südafrikas (Gauteng- und Limpopo-Provinzen) enthaltene Travertin, ein fast reiner Kalkstein, als Baumaterial Verwendung fand. Die primären Höhlen wurden vor wenigen Millionen Jahren zuerst mit unter der Grundwasseroberfläche ausfallendem Travertin und später mit Sedimenten und Knochenresten von außen aufgefüllt. Als der Travertin zu Beginn

des letzten Jahrhunderts bergmännisch abgebaut wurde, blieb eine heute begehbare Aushöhlung entlang der Grenzen der mit Kalzit verfestigten übrigen Höhlenfüllungen zurück.

Die fossilen Reste werden spätestens durch ihre Bergung aus dem ursprünglichen geologischen Zusammenhang entfernt. Allerdings kann dies auch schon vorher durch Umlagerung oder Erosion einer Fundschicht geschehen. Für die zeitliche Einstufung der geborgenen Fossilien muss daher ihre ursprüngliche Lage in der geologischen Schichtfolge (*Stratigraphie*) rekonstruiert werden. Diese wird anhand geologischer Profile ermittelt, und beschreibt den sedimentologischen Aufbau der geologischen Schichten. Hieraus lässt sich die Beschaffenheit (*Fazies*) des ursprünglichen Ablagerungsraumes durch einen bestimmten Zeitraum hindurch erschließen. Da im Normalfall verschiedene Faziestypen in derselben Schicht nebeneinanderliegen, beispielsweise Flussgerölle in ehemaligen Flussbetten neben Siltsteinen in ehemaligen Überschwemmungsgebieten, wird neben dieser Abfolge der Gesteinsschichten (*Lithostratigraphie*) das Konzept der *Biostratigraphie* angewendet: Durch vergleichbaren Organismeninhalt können lithologisch unterschiedliche Schichten des Fundgebietes zueinander in Beziehung gesetzt werden.

Die Benennung der geologischen Muttergesteine der Fossilfundstellen erfolgt nach internationalen Richtlinien meist als geologische Formation mit Untereinheiten, die oft *Unit*, *Bed* oder *Member* genannt werden. Sind in den Fundschichten die fossilführenden Einheiten durch Aschen- oder Tufflagen ehemaliger Vulkane voneinander getrennt, werden diese als Schichtgrenzen verwendet. Gleichzeitig können die Tuffe nach der von ihnen abgegebenen noch messbaren Strahlung datiert werden (radiometrische Altersbestimmung) und geben so ein absolutes Mindestalter bzw. Höchstalter für die von der oberen bzw. unteren Tuffschicht umschlossenen fossilführenden Lage an.

Absolute Altersbestimmungen beruhen darauf, dass radioaktive Isotope, die in kleinen Mengen in allen Stoffen neben den normalen Isotopen vorhanden sind, mit konstanten Raten zerfallen, unabhängig von Feuchtigkeit, Temperatur, Säuregehalt oder anderen äußeren Faktoren. Das am häufigsten verwendete

Isotop ist Kohlenstoff 14 (^{14}C), das durch die Sonneneinstrahlung in der oberen Atmosphäre ständig neu gebildet wird. Während so im lebenden Organismus, etwa in Knochen, das Mengenverhältnis des ^{14}C -Isotops und der normalen ^{12}C -Isotope konstant bleibt, beginnt beim Tod eines Tieres der Zerfall der ^{14}C -Isotope in Stickstoff 14 (^{14}N). Nach einer bestimmten Halbwertszeit (bei Kohlenstoff 5370 Jahre) ist nur noch die Hälfte der ursprünglichen ^{14}C -Menge vorhanden. Durch exakte Messung des Mengenverhältnisses in einem fossilen Knochen kann so das Alter des Fragments bestimmt werden, in der Praxis bis auf ± 20 Jahre genau. Wegen der geringen Halbwertszeit können Funde, die älter sind als ca. 50000 Jahre, mit ^{14}C nicht datiert werden. In der Paläoanthropologie kommt daher dem Isotop Kalium 40 mit einer Halbwertszeit von ca. 1,3 Milliarden Jahren eine besondere Bedeutung zu. Da es nicht in Knochen, sondern in vulkanischen Produkten vorkommt, können damit aber nicht die Funde selbst, sondern die in der Fundstelle darunter- und darüberliegenden Gesteinslagen vulkanischen Ursprungs datiert werden.

Weitere wichtige geochronologische Datierungsmethoden in paläoanthropologisch relevanten Zeiträumen sind beispielsweise die OSL-Datierung (*Optische Stimulierte Lumineszenz* an Quarzpartikeln) und die *Uran-Thorium-Datierung* (z.B. an Kalken und Stalagmiten). Eine global anwendbare Datierungsmethode ist die Messung der magnetischen Polarität der in vielen Sedimenten enthaltenen Eisenpartikel. Ihre Richtungseinregelung entspricht der Ausrichtung des Erdmagnetfeldes zur Zeit der Sedimentablagerung. Da dieses im Laufe der Erdgeschichte häufig wechselte, konnte eine *Magnetostratigraphie* erarbeitet werden, die weltweit dieselben charakteristischen Zyklen aufweist. Eine örtliche Magnetostratigraphie passt mit hoher Wahrscheinlichkeit nur in einen spezifischen Abschnitt der weltweiten Skala und trägt so zur Eingrenzung des Alters der untersuchten Schichten bei.

Steht datierungsfähiges Material nicht zur Verfügung, werden relative Datierungsmethoden angewandt. Die Faunendatierung kommt dann in Betracht, wenn Fossilien gefunden wer-

den, die einer sich rasch verändernden Tiergruppe angehören. In Afrika sind dies vor allem Schweine (*Suiden*). Deren dritte Backenzähne (*Molaren*) werden als Leitfossilien benutzt. Während diese Zähne vor ca. 5 Millionen Jahren noch generell breit und niederkronig waren, entwickelten sich in den verschiedenen Linien schmale hochkronige Zähne, deren jeweiliger Entwicklungsgrad sich relativ gut durch einfache Messmethoden darstellen lässt. Ist eine darauf begründete Biostratigraphie in einer Fundregion mit absoluten Altersdaten aus der radiometrischen Datierung umgebender Sedimente verknüpft, liefert sie auch für weiter entfernt liegende Fundregionen, in denen datierbare Sedimente fehlen, ungefähre Altersangaben, wenn die dort gefundenen Fossilien in die Biostratigraphie einfügbar sind.

Die ältesten Gesteine der Erde sind weit über 3 Milliarden Jahre alt und vor allem in Afrika häufig. Seit ca. 541 Millionen Jahren, dem Beginn des Erdaltertums (*Paläozoikum*), sind die ersten Fossilien, erhaltungsfähige Hartteile von Lebewesen, bekannt. Landorganismen entstehen vor ca. 470 Millionen Jahren, erste Amphibien vor ca. 380 Millionen Jahren und erste Reptilien vor ca. 330 Millionen Jahren. Im Erdmittelalter (*Mesozoikum*) mit den Abschnitten *Trias* (252–201 Millionen Jahre), *Jura* (201–145 Millionen Jahre) und *Kreide* (145–66 Millionen Jahre) werden die Dinosaurier die beherrschenden Landlebewesen. Die Erdneuzeit (*Känozoikum*) beginnt vor ca. 66 Millionen Jahren mit dem ältesten Abschnitt des *Paläogen*, gefolgt vom *Neogen* und vom *Quartär*:

Zeitalter	Zeitalter	Alter und Dauer
QUARTÄR	Anthropozän	1950 n. Chr. bis heute
	Holozän	11 700 Jahre – 1950 n. Chr.
	Pleistozän	2,58–0,0117 Millionen Jahre
NEOGEN	Pliozän	5,3–2,58 Millionen Jahre
	Miozän	23–5,3 Millionen Jahre
PALÄOGEN	Oligozän	33,9–23 Millionen Jahre
	Eozän	56–33,9 Millionen Jahre
	Paleozän	66–56 Millionen Jahre

Im *Pleistozän* herrschten in Europa mehrere Eiszeiten. Deren Auswirkungen waren in Afrika weniger drastisch als in Europa, die heutige afrikanische Tierwelt unterscheidet sich wenig von der des *Pliozän*. In Afrika spricht man daher meist von einem einheitlichen *Plio-Pleistozän*. Die ersten Vormenschen entstanden am Ende des *Miozän* vor knapp 7 Millionen Jahren (ca. 350 000 Generationen) (Abb. 1). Der letzte Abschnitt, das nur wenige Generationen umfassende *Anthropozän*, dessen Beginn mit weltweiten Atomwaffentests angesetzt wird, deren Rückstände geochemisch nachweisbar sind, ist geprägt durch menschengemachte, stetig ansteigende CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre mit dramatischen Auswirkungen auf Klima und Biodiversität.

Wenn Organismen versteinern

Alle Versteinerungen haben eines gemeinsam: Sie sind tot. Die Reste ehemaliger Lebewesen durchlaufen ab dem Tod vielfältige Zerfalls- und Einbettungsprozesse, die den Organismus zunehmend verändern und schließlich zu Fossilien werden lassen. Die Vorgänge der Fossilisation untersucht die *Taphonomie*, die Wissenschaft von der Einbettung (*Biostratonomie*) und Fossilwerdung (*Diagenese*). Der Verlauf der taphonomischen Prozesse wird von den jeweiligen biologischen, geologischen und chemisch-physikalischen Bedingungen bestimmt. Ursachen hierfür sind Auswirkungen der ehemaligen Umwelt, des Klimas, der Ablagerung, der Einbettung und der Stoffumwandlung. Kontinuierlich geht also ein gewisser Anteil an organischem und anorganischem Material verloren. Gleichzeitig werden aber auch neue und teilweise überlagernde Informationen gespeichert, etwa Zahnmarken von Tieren, Abrasionsspuren durch Transport oder auch Schnittmarken von Steinwerkzeugen auf Antilopenknochen etc. Um diese Spuren zu interpretieren, werden Experimente mit modernen Knochen durchgeführt, um so die Prozesse zu rekonstruieren, die zu taphonomischen Effekten führen, die mit den an den Fossilien beobachteten Spuren übereinstimmen.

Organische Bestandteile zersetzen sich meist rasch, oft bleibt nur anorganisches Hartgewebe erhalten, etwa Knochen, Zähne oder Schalen. Ein Teil der Fragmente wird schließlich von Sediment überdeckt und verfestigt. Die anschließende *Diagenese* führt zu einer dem Chemismus des Bodens oder des Grundwassers entsprechenden Versteinierung. In einer silikatreichen Umgebung etwa spricht man von *Silifizierung*, das Vorherrschen von Kalk hingegen führt zu *Kalzifizierung*. Hierbei werden die Fragmente Molekül für Molekül ummineralisiert, manchmal werden auch Hohlräume durch Kristallisation ausgefüllt. Neben Körperfossilien finden sich Abdrücke ehemaliger Organismen, zum Beispiel von Pflanzenresten, oder fossile Spuren. An einigen Fundstellen sind versteinerte Kotreste (*Koprolithen*) häufig. Selten sind Weichteile indirekt erhalten, wenn sie etwa durch fossil erhaltene Bakterien verstoffwechselt werden, die Haut und Haare nachzeichnen.

Auch wenn gute Fossilisationsbedingungen herrschten, werden nur wenige Fossilien jemals gefunden. Auch nach ihrer Entdeckung unterliegen Funde vielfältigen Einflüssen. Daher gehören zur taphonomischen Geschichte auch alle Prozesse der Bergung, der Präparation und der Aufbewahrung von Fossilien.

Paläoumwelt und Human Paleobiomics: Das große Ganze

Ein charakteristisches Merkmal des heute weltweit verbreiteten *Homo sapiens* ist die Fähigkeit, im Widerspruch zum ökologischen Umfeld existieren zu können. Dies ist vor allem auf vielfältige technische Hilfsmittel zurückzuführen, deren erste Ursprünge den Übergang von den Vormenschen der Gattung *Australopithecus* zu den Urmenschen der Gattung *Homo* markieren. Davor waren die Homininen als Teil eines jeweiligen Ökosystems mit allen Konsequenzen der gegenseitigen Abhängigkeit von Klima, Vegetation und Fauna in dieses eingebunden. Die Paläoökologie untersucht diese Wechselbeziehungen von Pflanzen und Tieren vergangener Erdzeitalter. Im Vordergrund steht die Charakterisierung und Rekonstruktion der ehemaligen Lebensräume (*Habitate*).

Bei paläoanthropologischen Projekten werden durch Aufsammlungen und Grabungen in den allermeisten Fällen keine Homininenreste geborgen, sondern Fragmente der ehemaligen Fauna des Gebietes. Ungefähr die Hälfte des Fundgutes an Wirbeltierfossilien von afrikanischen Fundstellen sind Antilopenreste, an zweiter Stelle stehen Pferde, gefolgt von Elefanten, Schweinen, Flusspferden und Krokodilen. Bei den großen Säugern sind *Carnivoren* (Fleischfresser) und Primatenfunde sehr selten, wie dies weitgehend der ursprünglichen Zusammensetzung der Fauna entsprechen dürfte.

Alle biotischen Komponenten eines Habitats liefern Aussagen über lokale Umweltgegebenheiten. So lassen sich zum Beispiel Auswirkungen von Konkurrenzen um die Nutzung von Ressourcen unter anderem an Veränderungen in der Häufigkeit von Konkurrenten ablesen. Andere Habitatsigenschaften, wie Vegetationsdichte, saisonale Schwankungen im Ressourcenangebot oder etwa dessen relative Feuchtigkeit können mit Hilfe ökologischer Profile ermittelt werden.

Ein umfassendes Bild der Landschaft und der Umweltbedingungen, die den Lebensraum der frühen Menschen prägten, liefert die quantitative Untersuchung von Klima und Vegetation. Fossile Floren werden paläobotanisch analysiert, um räumliche Klima- und Vegetationsmuster zu rekonstruieren. Paläobotanische Studien erlauben die Rekonstruktion der raumzeitlichen Verteilungsmuster von Umweltparametern. Zusammen mit paläontologischen, geologischen und auf Computermodellierungen basierenden Befunden und im Vergleich mit raumzeitlichen Mustern der archäologischen Befunde können so für bestimmte Zeitabschnitte die jeweiligen Einflüsse der physischen Umwelt auf Evolution und Ausbreitung früher Menschen identifiziert werden.

Zunehmend setzt sich in der Paläoanthropologie die Erkenntnis durch, dass wichtige Fragen zur Evolution des Menschen allein aufgrund der Rekonstruktion und Einordnung von immer mehr Hominineneinzelfunden nicht zu beantworten sind. Vielmehr geht es um das Gesamtbild und den ökologischen Rahmen, in dem Erklärungen gesucht werden für das Entstehen und

das Aussterben mehrerer Homininenarten und das alleinige Überleben von *Homo sapiens*. Von besonderer Bedeutung sind hierbei multidisziplinäre Forschungsansätze zur Evolutionsökologie des Menschen und zu seiner Ausbreitungsgeschichte in Abhängigkeit von Klima- und Lebensraumveränderungen. Für die paläontologische Forschung bietet Afrika gute Voraussetzungen, eine Grundlage für ein ganzheitlich-panafrikanisches, durch zeitliche, evolutive und räumliche Kontinuität geprägtes Modell liefern zu können, das Biogeographie, Klima-, Habitat- und Faunenentwicklung während der ersten Phasen der Menschheitsgeschichte einschließt.

Der Forschungsansatz «Human Paleobiomics» (paleobiomics.org) integriert die Paläoanthropologie mit den Umweltwissenschaften im Sinne einer Systemforschung. Die komplexen Beziehungen von Organismen und Habitaten wie beispielsweise Umweltabhängigkeit von Life-History-Faktoren, Co-Evolution von Organismen und Habitaten werden interdisziplinär erforscht. Dieser integrativ-systembiologische Ansatz fördert ein umfassendes Verständnis der Hartgewebe-Biologie als eine Hauptrichtung der paläoanthropologischen Forschung, da morphologische Signale und Muster wie die Schichtung im lamellaren Knochen und die Wachstumslinien der Zahnsubstanzen auch in den Fossilien als Resultate physiologischer Prozesse und Aktivität überliefert sind. Die molekulare Biologie zu Wachstum und Knochenumbau unter Berücksichtigung von Biomechanik, Verhaltensökologie, Umwelt- und Klimadaten sowie von kulturellen Entwicklungen ist der entscheidende Schlüssel zum Verständnis der Evolution früher Menschen.

Harte Beweise: Paläoanthropologische Sammlungen

Paläoanthropologische Sammlungen enthalten nichts weniger als die harten Fakten zur Menschwerdung, im Allgemeinen Knochen und Zähne. Kein Wunder, dass gerade bei den wenigen Fossilbelegen zur Geschichte der Menschheit – weltweit nur einige tausend aus sieben Millionen Jahren – von den Institutionen und Kuratoren ein Höchstmaß an Vorsicht gefordert ist,

um diese äußerst kostbaren Belege unserer Vergangenheit zu schützen. Daher wurden und werden paläoanthropologische Sammlungen wie millionenschwere Kunstwerke gesichert. Auch wenn man als Wissenschaftler mit berechtigtem Forschungsinteresse Zugang zu den Originalfossilien erhält, ist es dennoch unmöglich, Originale aus verschiedenen Sammlungen direkt miteinander zu vergleichen. Nur äußerst selten werden mehrere Originale gleichzeitig in Ausstellungen gezeigt, so etwa 1984 in New York und 2016 in Darmstadt.

Die umfangreichsten Sammlungen zur Paläoanthropologie befinden sich heute in Afrika, der Wiege der Menschheit. Führend sind hierbei Museen in Kenia, Südafrika, Tansania und Äthiopien. Die Denkmalschutzgesetze in afrikanischen Ländern sind seit der Unabhängigkeit vieler Staaten in den 1960er Jahren vorbildhaft streng, was angesichts der früheren kolonialen Raubzüge unter Führung der Europäer nicht verwundert. Homininenfossilien sind in diesen Ländern besonders geschütztes nationales Erbe und werden üblicherweise in den Nationalmuseen aufbewahrt. Im föderalen deutschen Museumssystem hingegen enthalten regionale Sammlungen oft nur Einzelstücke von Homininen, so beispielsweise in Heidelberg, Stuttgart, Bonn oder Halle. Die Frankfurter Sammlung zur Paläoanthropologie im Senckenberg Forschungsinstitut stellt die größte Sammlung frühpleistozäner Originalhomininen in Europa und Amerika dar (Tafel 1). Sie umfasst *Homo erectus*-Funde aus Sangiran (Java), die von Gustav Heinrich Ralph von Koenigswald (1902–1982) dort seit 1937 gesammelt wurden.

Da heute Afrika als Wiege der Menschheit gilt, ist die Präsenz der Fossilien in den eigenen Sammlungen für afrikanische Länder besonders wichtig: Ende der 1980er Jahre wurden die wichtigsten Originalhomininen aus der Olduvaischlucht vom Nationalmuseum Kenias an Tansania übergeben. In einigen Ländern, allen voran Äthiopien, wo sich inzwischen «Lucy» (Abb. 6) anstatt der Königin von Sheba als afrikanische Urmutter etabliert hat, lässt sich beobachten, wie wichtige Homininenfunde zunehmend auch zu Identifikations- und Nationalsymbolen werden.

Datensicherung: Hightech und Digitalisierung

Zwar beherbergt jede paläoanthropologische Sammlung bis heute neben eigenen Originalen auch eine Abgussammlung, doch inzwischen nimmt deren Bedeutung ab. Grund hierfür ist die Verfügbarkeit kostengünstiger digitaler und virtueller Methoden. Diese neuen Techniken revolutionierten die Möglichkeiten für wissenschaftliche Auswertungen in der Paläoanthropologie ebenso wie in anderen anatomisch-morphologischen Arbeitsgebieten.

So wurde die anatomische Darstellung von Fossilien durch die Anwendung von Rasterelektronenmikroskopie, 3-D-Topometrie- und Computertomographie-Verfahren stark verbessert. Fossilien werden heute nicht mehr mit der Schieblehre vermessen, sondern per Micro- oder Nano-CT, mit Neutronen-Scanner und Synchrotron-Strahlung förmlich in kleinste Einzelheiten zerlegt. Mit diesen Techniken lassen sich frühere, mit klassischen Methoden gewonnene Beschreibungen überprüfen, aber auch beträchtlich erweitern. Im einfachsten Fall können an 3-D-Modellen Messungen berührungsfrei nachvollzogen werden. So gewonnene Werte besitzen ein höheres Maß an Exaktheit, da Ungenauigkeiten, die aus der Mechanik des Messvorganges herrühren, dadurch vermieden werden, dass die Messung virtuell an einem digitalen 3-D-Modell durchgeführt wird. Modernste virtuelle Techniken legen weit mehr frei, als am realen Objekt durch Präparation denkbar ist, zum Beispiel Strukturen, die ohne Zerstörung des Fossils nicht zugänglich wären, wie etwa das Labyrinthorgan im Innenohr.

Ebenso ist es nun möglich, Fossilien zu redeformieren und virtuelle Rekonstruktionen anzufertigen. Gleichzeitig wurden neue Methoden für digitale Struktur- und Funktionsanalysen von Hartgewebemakro- und Mikrostrukturen entwickelt, um beispielsweise bislang unzugängliche Informationen wie etwa die räumliche Lage einer winzigen Kaufacette auf einem Backenzahn sowohl zu vermessen als auch in ihrer Funktion zu ergründen. So können beispielsweise durch 3-D-Topometrie-Verfahren kleinste Abnutzungsmuster auf Zahnoberflächen

Hinweise auf die Nahrungszusammensetzung früher Menschen geben.

Digitale Daten sind an jedem Ort der Welt mit Internetzugang verfügbar. Während bislang die Forscher auf Reisen gingen, um Daten in Sammlungen zu erheben, sind es nun die Daten selbst, die sich in Sekundenschnelle weltweit ausbreiten. Nebenbei werden dadurch auch Schäden an den kostbaren Stücken selbst vermieden, denn tatsächlich weisen erstaunlich viele Fossilien Spuren unsachgemäßer Behandlung durch Wissenschaftler auf, vom abgesprungenen Zahnschmelz bis zum Zertrümmern durch Fallenlassen.

Auch wenn viele der neuen digitalen Verfahren die Wissenschaft technisch und inhaltlich weit vorangebracht haben, so liegt ihr eigentliches Verdienst für die Paläoanthropologie nicht nur im technischen Fortschritt. Denn diese Verfahren sind ganz nebenbei auch ein ideales Vehikel zur Demokratisierung dieser von Kontrolle und Macht über die Originale beherrschten Wissenschaft. Auch die Weltöffentlichkeit wird von der Demokratisierung der Paläoanthropologie profitieren. Homininenreste stammen, auch wenn sie als nationales Erbe heutiger Staaten deklariert werden, aus einer Epoche der Menschheitsgeschichte, in der es keine Nationalstaaten gab. Schon deshalb sind sie als Erbe der gesamten Menschheit anzusehen. Der Zugang zu Informationen zu diesem Erbe sollte daher der gesamten Menschheit offenstehen, im digitalen Zeitalter eine durchaus realistische Forderung.

Paläokriminalistik: Genetik und Geochemie

In *molekulargenetischen Studien* wird versucht, aus Unterschieden in DNA-Sequenzen heute lebender Menschen Rückschlüsse auf die Menschheitsgeschichte zu ziehen. Unser Genom besteht aus rund drei Milliarden Nukleotiden, die uns von unseren Vorfahren vererbt wurden. In jeder Generation werden einige durch Mutationen in der männlichen und weiblichen Keimbahn verändert, so dass nachfolgende Generationen leicht veränderte Versionen der ursprünglichen Genome erhalten. Je nachdem, ob

menschliche Populationen gewachsen, geschrumpft oder gewandert sind, sich aufgeteilt und/oder Individuen ausgetauscht haben, sammeln sich diese Mutationen in charakteristischer Weise im Genpool an. Wenn man also die Varianten von DNA-Sequenzen in genügend heute lebenden Menschen ermittelt, ist die genetische Geschichte des Menschen im Prinzip zu bestimmen. Populationsgenetische Studien erlauben die Rekonstruktion von Vererbungsprozessen in Populationen und lassen beispielsweise Rückschlüsse auf Expansionsbewegungen zu.

Studien «fossiler» DNA (aDNA, *ancient DNA*) sind aufgrund ihres schlechten Erhaltungszustandes recht schwierig. Jedoch verhelfen neueste Labormethoden zu immer älteren Nachweisen. Bereits 1997 gelang die teilweise Entschlüsselung von *Mitochondrien-DNA* (mtDNA) aus dem Original des namengebenden Neandertaler-Fundes. Inzwischen konnte nicht nur das häufig vorliegende mitochondriale Genom, sondern das gesamte Neandertaler-Genom, also auch das viel seltenere Erbgut, das sich im Zellkern befindet, komplett entschlüsselt werden. Zwischen 2010 und 2012 wurde sogar eine neue geographische Variante früher Menschen (Denisova-Menschen) aufgrund von mtDNA- und Kern-DNA-Untersuchungen an einem einzigen Fingerknochen entdeckt. Die älteste bislang bekannte DNA ist ca. 430 000 Jahre alt und stammt von den frühesten Anteneandertaler-Funden aus der «Knochengrube» Sima de los Huesos (Spanien) (Abb. 10).

Auch DNA, die von Lebewesen in ihrer Umwelt hinterlassen werden (eDNA, *environmental DNA*), zum Beispiel aus Höhlensedimenten, gibt Aufschluss über ehemalige Bewohner, sogar ohne das Vorhandensein fossiler Fragmente.

Nicht nur in der Paläogenetik wurden die Untersuchungsmethoden in den letzten Jahren stark erweitert, sondern auch auf dem Gebiet der *Geochemie*. Hierbei steht die Untersuchung von Elementen und ihrer stabilen Isotope in Sedimenten sowie in Knochen und Zähnen im Vordergrund. Zum Beispiel wurde es durch Laser-Ablations-Verfahren möglich, kleinste Menge an Fossilmaterial zu nutzen und auf wenigen tausendstel Millimetern, etwa entlang von Wachstumszonen, detailliert zu beproben.

Die chemische Signatur der Zähne spiegelt viele Aspekte der Lebensgeschichte eines Individuums wider. Als Anzeiger für die Ernährung eignen sich das Strontium-/Calcium-Verhältnis und Stickstoffisotopensignale aus dem Zahnkollagen. Im Zahnschmelz von Säugetieren werden beispielsweise Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen-Signale untersucht. Die Sauerstoffisotopie gibt Hinweise auf Paläotemperaturen von Wasser. Die Kohlenstoffisotopie entsteht in Pflanzen auf Grund unterschiedlicher Photosynthesewege und kann zusammen mit der Untersuchung von Spurenelementen sowohl Hinweise auf den Lebensraum als auch auf die verfügbare Nahrung und Nahrungsketten geben.

Mehr Informationen zu diesem und vielen weiteren Büchern aus dem Verlag C.H.Beck finden Sie unter: www.chbeck.de