

DER DIGITALE NEANDERTALER

Zurück zu den Anfängen und auf in die Zukunft: Evolutionsforscher der Universität Zürich gehen neue Wege, um die Frage nach dem biologischen Ursprung und der Entwicklung des Menschen zu beantworten. Von Klaus Wassermann

Der moderne Mensch ist eine der erfolgreichsten biologischen Arten, die je auf der Erde gelebt haben. Von den subpolaren Gebieten der Arktis bis in die Regenwälder der Tropen haben Vertreter unserer Spezies die unterschiedlichsten Lebensräume erobert und deren Angesicht geprägt. Selbst die Ausbreitung ähnlich erfolgreicher Arten wie der Ratte, die mittlerweile ebenfalls alle Kontinente der Erde bevölkert, wäre ohne die unermüdliche, durch Entdeckungen, Eroberungen und Handel angetriebene Reisetätigkeit des Menschen während der vergangenen Jahrhunderte und Jahrtausende nicht möglich gewesen. Wie aber hat es mit dem Menschen angefangen? Wo liegt der Ursprung der Menschheit, und wie hat sie sich entwickelt?

Seit Charles Darwin seine bahnbrechenden Arbeiten zum Ursprung der Arten und zur Abstammung des Menschen Mitte des 19. Jahrhunderts veröffentlicht hatte, versuchen Paläoanthropologen die Fragen nach der menschlichen Evolution systematisch zu beantworten. Sie stützen sich dabei in erster Linie auf die fossilen Hinterlassenschaften längst vergangener Zeiten. Skelettreste und Gebrauchsgegenstände, die in der Tiefe der Erde eingebettet die Zeiten überdauern, werden in aufwendigen Grabungen freigelegt und auf ihr Alter und nach spezifischen Merkmalen hin untersucht. Das heisst auch heute noch: ausgraben, vermessen, vergleichen. Besonders in der Art und Genauigkeit der Analyse der Fossilproben hat sich seit Darwins Zeiten aber viel getan. Mit modernen bildgebenden Verfahren und der Computertechnik gelingen den Forschern heute neue Einblicke auch in längst bekannte fossile Zeugen, die in den Forschungsarchiven und Museen der Welt lagern.

Im Korridor des Anthropologischen Instituts der Universität Zürich Irchel ist ein ausgestopfter Gorilla ausgestellt. Durch eine

Glastür sieht man in Alkohol eingelegte Querschnitte durch einen menschlichen Leichnam. In einer Schauvitrine demonstrieren Modelle die Entwicklung eines Kindes im Mutterleib. Auf dem Weg zum Büro der Paläoanthropologen Christoph Zollikofer und Marcia Ponce de León trifft man auf Wandbilder, die verschiedenste kleine und grosse Affenarten der Alten und der Neuen Welt zeigen. In Zimmer K 22, dem Reich Zollikofers und Ponce de Leóns, dominiert die Farbe Braun. Es riecht ein bisschen nach Naturgeschichte-Museum. In hohen holzbraunen Vitrinen lagern Abgüsse von Schädeln längst ausgestorbener Vorfahren des modernen Menschen. Auf zwei hölzernen Schreibtischen liegen Bücher und Papierrollen, auf Kommoden stapeln sich Kartonschachteln. «Homo sapiens sapiens inf.» steht auf einer der Schachteln, sie beherbergt wohl einen fossilen Kinderschädel.

EIGENSTÄNDIGE MENSCHENART

Zollikofer und Ponce de León betreiben evolutionäre Entwicklungsbiologie. Das heisst, sie rekonstruieren die Stadien der kindlichen Entwicklung ausgestorbener Menschenarten, etwa der Neandertaler, und vergleichen diese mit der Kindesentwicklung des modernen Menschen. Auf diese Weise hoffen sie, mehr über deren Entwicklungsstadien und Verwandtschaftsbeziehungen zu erfahren. Ihr Ansatz ist in der Paläoanthropologie neu und ungewöhnlich. Die klassische Sicht auf die Ausgestaltung von Merkmalen einer Art fragt nämlich nach dem Nutzen von Körpermerkmalen für das Überleben im Alltag. «Es gibt aber auch viele Merkmale, die allein aus entwicklungsbiologischen Gründen wichtig sind», meint Ponce de León. In der Entwicklung vom Embryo zum Erwachsenen dienen sie als eine Art steuernder Fixpunkt, um den herum sich das genetische Geschehen der embryonalen Entwicklung abspielt. Es ist

also durchaus möglich, dass bestimmte morphologische Merkmale, mit denen die Wissenschaft zwei Arten unterscheidet, sich nicht im Zusammenhang mit dem täglichen Kampf ums Dasein entwickelt haben, sondern der Steuerung der Abläufe bei der Entwicklung zum Erwachsenen dienen. Die beiden Forscher suchen bei Schädeln von Neandertalern und modernen Menschen nach solchen Merkmalen und versuchen, anhand modellhafter Szenarien Gemeinsamkeiten und Unterschiede in der Entwicklung aufzuzeigen. Dabei stellte sich heraus, dass die Differenzen der beiden Schädeltypen schon direkt nach der Geburt messbar sind. Das weitere Wachstum scheint bei beiden Menschenarten interessanterweise jedoch nach demselben Entwicklungsprogramm abzulaufen. Zollikofer und Ponce de León nehmen daher an, dass der Neandertaler als völlig eigenständige Art betrachtet werden muss, da sich die morphologischen Unterschiede schon vor der Geburt bilden und somit genetischen Ursprungs sind.

SCHÄDEL AUS DEM 3-D-DRUCKER

Bei ihrer Arbeit verwenden Zollikofer und Ponce de León modernste technische Untersuchungsmethoden. Mit dem Computertomographen am Kantonsspital Winterthur, der sonst rein medizinischen Zwecken dient, durchleuchten sie fossile Schädel und auch ganze Skelette. So können sie Strukturen sichtbar machen, die in bisher unzugänglichen Hohlräumen des Knochenmaterials verborgen blieben, und entlocken fossilem Material, das der Wissenschaft eigentlich längst bekannt ist, eine Fülle neuer Informationen. Sogar ganze Blöcke von Ausgrabungsmaterial können sie im Tomographen in ihrem ursprünglichen Erhaltungszustand untersuchen, ohne durch vorheriges Wegpräparieren von Erdmaterial den meist durch die Fossilisationsprozesse verformten und oft zerbrochenen Schädel zu beschädigen.

Im Kellergeschoss des nahen Instituts für Informatik befindet sich das MultiMedia Lab. Hier unten entwickeln die beiden Forscher das Kernstück ihrer täglichen Arbeit, ein Computerprogramm zur dreidimensionalen Rekonstruktion fossiler Schädel und Skelette. Da Zollikofer und Ponce de León vor Jahren mit den



Im MultiMedia Lab werden fossile Schädel und Skelette dreidimensional rekonstruiert.

damals zur Bearbeitung räumlicher Objekte erhältlichen Programmen unzufrieden waren, begannen sie kurzerhand, ihre eigene Software zu schreiben. Zwar stellte sich dieses Unternehmen bald als sehr aufwändig heraus, doch konnten die beiden ihr Programm von Anfang an auf ihre Bedürfnisse hin masschneidern. Mittlerweile ist ihre Rekonstruktionssoftware in Fachkreisen so bekannt, dass Forscherkollegen aus der ganzen Welt nach Zürich kommen, um ihre Fossilproben damit zu bearbeiten. Ein willkommener Nebeneffekt dieses wissenschaftlichen Austausches ist, dass Zollikofer und Ponce de León die Daten dieser Fossilien für ihre eigene Forschung weiterbearbeiten können.

Der Raum im MultiMedia Lab ist gross und dämmrig. An den Wänden stehen Tische mit Computertastaturen und Bildschirmen dicht an dicht, an manchen der Terminals wird gerade gearbeitet. Auf den Brettern eines Regals neben der Tür sind merkwürdig durchsichtige Schädelknochen ausgestellt. Sie sind aus Kunstharz und stammen aus einem stereolithographischen 3-D-Drucker, mit dem man im Computer entwickelte Modelle von Objekten ausdrucken, also in unsere körperliche Wirklichkeit herüberholen kann. Zu dritt nehmen wir vor einem grossen Monitor Platz und setzen weisse, merkwürdig geformte Brillen auf. Zollikofer tippt ein paar Kommandozeilen in den Rechner, worauf auf dem Bildschirm das erstaunlich plastisch und detailliert wirkende dreidimensionale Bild des vollständigen Skeletts eines Neanderthalers entsteht. Ein paar Minuten und Kommandozeilen später betrachten wir den prototypischen Schädel eines Neandertalers, aus vielen einzelnen Exemplaren durch Mittelung berechnet. Kleine Pfeile und rot und grün eingefärbte Knochenbereiche zeigen an, wo der Schädel im Laufe des Erwachsenwerdens an relativer Grösse zu- und abnimmt. Beeindruckend ist die nächste Demonstration: Der Computerscan eines kürzlich in Georgien ausgegrabenen Blocks aus Erde soll eine Fülle an archäologischer Information beherbergen. Tatsächlich, nach Veränderung verschiedener Darstellungswerte erscheint darin ein Hominidenschädel und ein langgestreckter Wirbelknochen, möglicherweise von einer Giraffe.

SUBATOMARE BOTSCHAFTEN

Die in der Paläoanthropologie neue Kombination von Computertomographie und der 3-D-Rekonstruktion im Rechner ermöglicht eine völlig neue Art der Auswertung von fossilem Knochenmaterial. Ohne die Schwerkraft beim Zusammensetzen von Knochenfragmenten berücksichtigen zu müssen, entsteht aus einer Ansammlung von Puzzlesteinen das frei im Raum schwebende Bild des Skeletts eines längst ausgestorbenen menschlichen Vorfahren. Fehlende Stücke der einen Körperseite können beispielsweise durch virtuelle Spiegelung von der anderen Körperhälfte her ergänzt werden, Verformungen, die beim Prozess der Fossilisation häufig entstehen, können im Computer ausgeglichen werden. Trotz all dieser Neuerungen ist die Rekonstruktion eines solchen Skeletts noch immer sehr aufwändig, sie dauert in der Regel mehrere Monate.

KINDHEITSENTWICKLUNG DER SCHIMPANSEN
Für die Zukunft haben die beiden Forscher bereits weitere ehrgeizige Pläne. «Der nächste Schritt in unserer Arbeit wird die Erfassung der Kindheitsentwicklung bei Schimpansen und anderen Menschenaffen sein, bei unseren nächsten biologischen Verwandten also», sagt Zollikofer. Genetische Untersuchungen haben deren verwandtschaftliche Nähe zum Menschen bereits bestätigt. Knochenmaterial jugendlicher Menschenaffen zu erhalten ist aber fast genauso schwierig wie an Neandertalerskelette heranzukommen. «Es gibt nur wenige Skelette von juvenilen Menschenaffen in den Museen auf der ganzen Welt, wir werden unser Forschungsmaterial also auch dafür auf Reisen mühsam zusammensammeln müssen», meint Ponce de León.

KONTAKT Prof. Christoph P. E. Zollikofer, Anthropologisches Institut der Universität Zürich, zolli@aim.unizh.ch

ZUSAMMENARBEIT Harvard University; Royal Africa Museum, Tervuren, Belgien; Georgisches Nationalmuseum, Tiflis, Georgische Republik; Institut für Informatik der Universität Zürich

FINANZIERUNG Schweizerischer Nationalfonds, Stiftungen

Erwin Schrödinger entdeckte seine bahnbrechende Quantenmechanik, als er Professor an der Universität Zürich war. Jetzt wird die Korrespondenz des Physik-Nobelpreisträgers herausgegeben. Von Antoinette Schwab

«Was Newtons Gleichung für die klassische Mechanik, das ist Schrödingers Gleichung für die Quantenphysik», sagt Daniel Wyler, Professor für theoretische Physik an der Universität Zürich. Sie sei neben den Newtonschen Gesetzen und den Maxwellschen Gleichungen der Elektrodynamik wohl die bekannteste Gleichung in den exakten Naturwissenschaften. Die Schrödinger-Gleichung – sie ist sozusagen gleichbedeutend mit der Quantenmechanik – beschreibt das Verhalten der Teilchen im Atom. Das Bohr'sche Atommodell, Heisenbergs Unschärferelation, mit der Schrödinger-Gleichung liessen sich diese nun mathematisch begründen. Daniel Wyler fasst ihre Bedeutung für die Quantenphysik kurz und knapp zusammen: «Ohne sie geht gar nichts».

Als Erwin Schrödinger 1926 seine später nach ihm benannte Wellengleichung aufstellte, war er Professor am Institut für theoretische Physik der Universität Zürich – eine äusserst fruchtbare Zeit, sowohl für ihn als auch für die Physik als Ganzes. «Schrödinger publizierte innerhalb eines Jahres fünf fundamentale Arbeiten, die jede einzelne den Nobelpreis verdient hätte», erzählt Wyler bewundernd. 1933 bekam er immerhin einen. Er war nicht der erste theoretische Physiker an der Universität Zürich, der später den Nobelpreis bekam. Sein berühmtester Vorgänger ist Albert Einstein, auf ihn folgten Peter Debye und Max von Laue. Doch im Gegensatz zu diesen machte Erwin Schrödinger seine bahnbrechende Entdeckung eben tatsächlich, während er an der Universität Zürich tätig war. Genau wie die anderen blieb er nicht lange. Alle zog es nach Deutschland; Zürich erhielt den Übernamen «Wartsaal 1. Klasse».

Erwin Schrödinger schrieb Zeit seines Lebens unablässig Briefe. Die Liste seiner Briefpartner liest sich wie ein «Who is who» der

Physik: Albert Einstein, Max Born, Paul Ehrenfest, Max von Laue, Wolfgang Pauli, Fritz London, Max Planck, Arnold Sommerfeld, Wilhelm Wien, um nur einige zu nennen. Er schrieb über alles und jedes. Frauen zum Beispiel waren ein Dauerthema. Privates wird in der Briefedition, die voraussichtlich in zwei Jahren bei Springer erscheinen soll, allerdings kaum vorkommen. «Eine Gesamtausgabe ist bei dieser Unmenge von Briefen einfach nicht möglich», begründet der Projektleiter. Das Schwerkgewicht liegt auf Briefen mit quantenmechanischen Aspekten aus zwei wichtigen Zeitperioden: die Zeit um die Entdeckung der Wellengleichung und die Zeit um 1935, als es heftige Diskussionen um die Interpretation der Quantenmechanik gab. Mit Unterstützung des Instituts für theoretische Physik stellt der erfahrene Wissenschaftshistoriker Karl von Meyenn Schrödingers Korrespondenz zusammen, bearbeitet sie, versieht sie mit erklärenden Fussnoten und übersetzt, wo nötig.

STATIONEN EINES LEBENS

Schrödingers Briefe liegen in verschiedenen Archiven, die die Etappen seines Lebens widerspiegeln. Er wurde 1887 in Wien geboren. Nach seiner Habilitation 1914 wurde er eingezogen. Nach dem Krieg folgten Anstellungen in Wien, Jena, Stuttgart und Breslau, bevor er 1921 nach Zürich kam. Zunächst war er nur fünfte Wahl. Als er dann aber sechs Jahre später als Nachfolger von Max Planck nach Berlin berufen wurde, bedauerte man das in Zürich sehr. Schrödinger war mittlerweile nicht nur ein berühmter Physiker, er muss auch ein begabter Pädagoge gewesen sein. Mit einem Fackelzug versuchten seine Studenten jedenfalls, ihn zum Bleiben zu bewegen – ohne Erfolg.

An seinem 40. Geburtstag zog Schrödinger in die deutsche Hauptstadt. Nach der