

ERRATUM

Im Editorial des Juni-Hefes 1999 (Vierteljahrsschrift Naturf. Ges. Zürich 144 (2) S. 51) hat sich leider ein Fehler eingeschlichen: Der Urknall liegt ca. 15 Milliarden (und nicht Billionen) Jahre zurück. «Billion» (engl.) entspricht im Deutschen einer Milliarde.

ANTHROPOLOGIE GESTERN UND HEUTE

Das Anthropologische Institut und Museum der Universität Zürich feiert 1999 sein 100-Jahr-Jubiläum. Mit einer Sonderausstellung, welche am 7. Oktober 1999 eröffnet wird, illustrieren die Zürcher Anthropologen und Anthropologinnen den Wandel in den Forschungsmethoden und vermitteln die neusten Erkenntnisse in der Evolutionsbiologie der nicht-menschlichen Primaten sowie des Menschen. Zudem findet an der Universität Zürich-Irchel vom 10. bis 12. Oktober 1999 ein internationaler Kongress unter dem Titel «Primatology and Anthropology: Into the Third Millennium» statt.

Bis vor wenigen Jahrzehnten bestand das Handwerkszeug eines Feldforschers aus Bleistift, Notizblock und Fernglas. Heute erleichtern technische Hilfsmittel und verbesserte Analysemethoden das immer noch harte Leben von Feldforschern und -forscherinnen. So ermöglicht beispielsweise die Telemetrie das gezielte Auffinden von Tieren, die Bestimmung ihres Aktivitätsmusters, ihrer Wohngebiete und ihrer sozialen Beziehungen. Neue Möglichkeiten ergeben sich auch daraus, dass genetische Analysen oder Hormonprofile inzwischen aus Kotproben gewonnen werden können.

Neben dem Handwerkszeug haben sich auch die wissenschaftlichen Ziele geändert. Als der Schweizer Anatomieprofessor Hans Bluntschli in den 30er Jahren Madagaskar bereiste, bestand das wissenschaftliche Ziel hauptsächlich im Sammeln von toten Tieren. Später interessierten sich die Anthropologen mehr für Verhalten und Ökologie. In heutigen Freilandprojekten kommen mehr und mehr Aspekte zum Zug, die unmittelbar mit Natur- und Artenschutz zu tun haben – das lebende Tier wird als Teil eines komplexen ökologischen Systems verstanden.

Das Studium der Evolutionsbiologie des Menschen setzt Kenntnisse über die Entwicklungslinien der Primaten (Halbaffen, Affen und Menschen) voraus (vgl. Abb. 1). In der heutigen anthropologischen Forschung spielt die Morphologie weiterhin eine wichtige Rolle. Umfangreiche Primaten-

Sammlungen wie jene des Anthropologischen Instituts der Universität Zürich stellen auch heute noch einen unschätzbaren wissenschaftlichen Wert dar. Erst vor drei Jahren wurde in der Zürcher Sammlung sogar eine neue Halbaffenart entdeckt und beschrieben – *Pseudopotto martini*.

Entwicklungslinien des Menschen

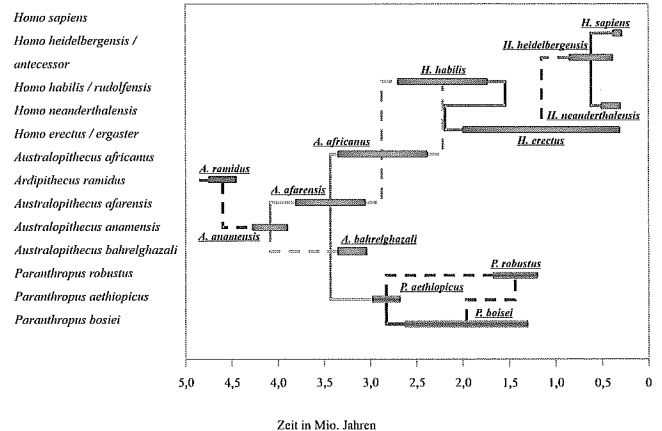


Abb. 1. Der moderne Mensch ist der letzte in einer Linie, deren grösste Vielfalt vor 3,7–1,0 Mio. Jahren bestand. Die Tendenzen innerhalb der Entwicklungslinie des Menschen sind nur in grossen Zügen bekannt, da der zeitliche Abstand der gefundenen Fossilien bis zu mehreren 10 000 Jahren auseinanderliegt. Vielfach sind die Fossilien rar und nicht in gutem Zustand erhalten. So sind durchaus verschiedene Entwicklungstheorien, die unterschiedliche Linien aufzeigen, zu vertreten. Sogenannte «Stammbäume» (Entwicklungslinien) sind nicht starre Gebilde, sondern müssen mit der Zeit angepasst, überarbeitet oder verworfen werden. Alle zeigen jedoch eine gewisse Kontinuität auf: Der letzte gemeinsame Vorfahre des Menschen und der Menschenaffen musste vor mindestens 5,5–6,5 Mio. Jahren gelebt haben. Die Australopithecinen waren die ersten bipedal aufrechtgehenden Homi-niden, und wir stammen nicht direkt vom Affen ab. Angefangen hat die Entwicklungslinie mit *Ardipithecus ramidus* und ging über die verschiedenen Australopithecinen bis zu den ersten wirklichen Menschen. Die asiatische Form des *Homo erectus* existierte bis vor 27 000 Jahren. Aus der afrikanischen Art *Homo erectus* (von vielen Wissenschaftlern *Homo ergaster* genannt) entwickelte sich vor ca. 1,0 Mio. Jahren die Form des *Homo heidelbergensis*, aus deren Linie sich *Homo neanderthalensis* und etwas später *Homo sapiens* abspaltete (Graphik: Anthropologisches Institut und Museum der Universität Zürich).

Virtueller Neandertaler Schädel

Computerunterstützte Methoden für die Erfassung und Analyse der Daten haben auch in der Anthropologie neue Horizonte eröffnet. In einem gemeinsam mit dem Multimedia-Laboratorium des Instituts für Informatik der Universität Zürich durchgeführten Projekt wurde beispielsweise ein Verfahren zur Rekonstruktion fossiler Reste entwickelt. Mit dieser Methode gelang den Zürchern Forschern die vollständige Rekonstruktion eines 1926 in Gibraltar gefundenen Schädels

eines 3 bis 4 Jahre alten Neandertaler Kindes. Mittels Computertomographie wurden die fünf gefundenen Schädelknochen erfasst, und die fehlenden Teile wurden mit Hilfe des Symmetriegesetzes nachgebildet. Anschliessend folgte der Schritt von der Computerdarstellung zum Modell aus Kunstharz mittels Stereolithographie. Bei dieser Technik steuert der Computer einen extrem dünnen Laserstrahl, dessen Energie das lichtempfindliche Kunstharz an den vorher berechneten Stellen hartwerden lässt. Innerhalb weniger Stunden entsteht so – Schicht um Schicht – das gewünschte Objekt.

Lange Zeit waren die Anthropologen der Ansicht, dass der aufrechte Gang auf zwei Beinen in einer offenen Savannenlandschaft erworben wurde. Nur in dieser Umgebung, nahm man an, musste man sich aufrichten, um die Gegend zu überblicken und sich mit Waffen gegen Raubtiere schützen. Neuere Untersuchungen zeigen nun, dass die Australopithecinen, welche vor ca. 3 Millionen Jahren lebten, die Beutetiere von Raubkatzen und Hyänen darstellten. Statt als Jäger müssen wir uns diese Vormenschen als Gejagte vorstellen, welche als friedliche Fruchtfresser bewaldete Gebiete bevorzugten. In der Höhle von Gladysvale (Südafrika) untersuchten Wissenschaftler des Anthropologischen Instituts und Museums der Universität Zürich beispielsweise eine fossile Lebensgemeinschaft mit dem Ziel, die Umweltverhältnisse zu rekonstruieren, welche zum Zeitpunkt der ersten Menschenartigen geherrscht haben. Mit einem Laser-Theodoliten wurde die Höhle vermessen, eine Karte und ein dreidimensionales Modell erstellt. Bisher wurden in den Gesteinsschichten von Gladysvale mehr als 7000 Knochen- und Zahnreste gefunden.

Die moderne Anthropologie beschäftigt sich aber nicht nur mit Knochen von lebenden und fossilen Primaten. Auch die Genetik wird bei Untersuchungen der Variabilität eingesetzt, und während den letzten Jahren sind molekularbiologische Methoden wie z. B. die Analyse mitochondrialer DNS immer wichtiger geworden. Breit angelegte genetische Vergleiche bei Primaten liefern eine zuverlässige Basis, um die Variabilität des modernen Menschen zu deuten. Heute ist eindeutig belegt, dass der Ursprung des modernen Menschen nur ein paar Hunderttausend Jahre zurückliegt, und dass die fließenden Übergänge zwischen heutigen Populationen keine biologische Basis für die Erkennung von getrennten «Rassen» ergibt.

Zähne als Informationsträger

Um Gesellschaftsstrukturen früherer Völker zu rekonstruieren, muss man das Sterbealter der Personen kennen. Degene-

rative Prozesse (z. B. der Abbau der Knochenbälkchen im Innern eines Oberschenkels) sind dabei die herkömmlichen Möglichkeiten, das Alter eines erwachsenen Individuums zu bestimmen. Aufgrund der individuellen Variabilität kann damit das Alter jedoch nur auf Jahrzehnte genau definiert werden. Neuerdings ist eine Altersbestimmung auch mit der sogenannten Zahnzementchronologie möglich (vgl. Abb. 2). Diese Methode ist aufwendig und teuer, bietet aber den Vorteil, dass sie auf ca. 3 Jahre genau ist und z. B. auch bei Brandbestattungen angewendet werden kann.

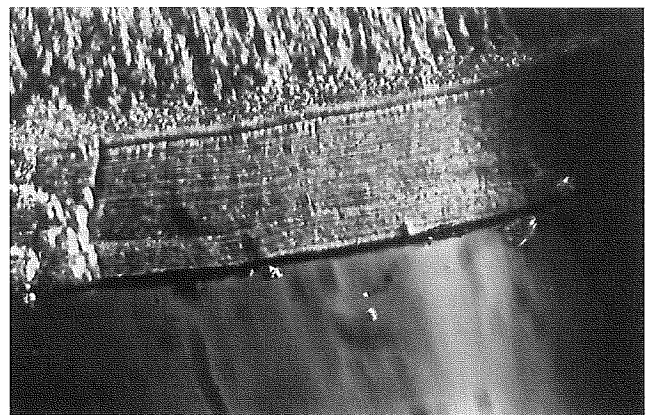


Abb. 2. Nach dem Durchbruch des Zahnes lagert sich im jährlichen Abstand Zement aussen an der Wurzel ab. Da das periodisch angelagerte Zementgewebe unterschiedlich stark mineralisiert ist, lassen sich unter dem Mikroskop an Dünnschnitten «Jahrringe» zählen; dazu muss noch das Durchbruchsalter des geschnittenen Zahnes addiert werden. Somit kann das Alter des jeweiligen Individuums auf plus/minus 3 Jahre genau bestimmt werden. Der Mann aus Grab 14 aus der Klosterkirche Rüti ist im Alter von 59 Jahren verstorben (Bild: Anthropologisches Institut und Museum der Universität Zürich).

Zähne geben aber nicht nur Auskunft über das Sterbealter, sondern verraten auch einiges über das Leben des Individuums. Beim Zahnaufbau machen sich Wachstumsstörungen durch Veränderungen im Schmelz- oder Zahnbeinmuster, aber auch durch abnormal ausgebildete Zähne bemerkbar. So hinterlassen Geburt, Abstillen, Krankheiten und Nahrungsmangel stark ausgeprägte Linien im Schmelz, welche in Zahnlängsschnitten unter dem Mikroskop sichtbar sind. Solche Linien können auch bei Fossilien analysiert werden.

Die Sonderausstellung wird am 7. Oktober 1999 eröffnet und dauert mindestens ein Jahr. Anthropologisches Museum der Universität Zürich-Irchel, Winterthurerstr. 190, 8057 Zürich (Öffnungszeiten: Di bis So 10–16 Uhr).

Anmeldungen für die Teilnahme am Kongress «Primatology and Anthropology: Into the Third Millennium» vom 10. bis 12. Oktober 1999 im Saal 24 G 45 an der Universität Zürich-Irchel sind bis Ende

September unter folgender Adresse möglich: Frau Jenny Pastorini, Tel. 01/635 54 47 oder 01/635 54 11; E-Mail: jenny@aim.unizh.ch oder unter <http://www.anthro.unizh.ch>.

SONNEN-VARIABILITÄT UND KLIMA

Die Erforschung der Sonnen-Variabilität und deren Einfluss auf das Klima ist in den letzten Jahren immer wichtiger geworden. Fachleute aus aller Welt erörterten den aktuellen Wissensstand diesen Sommer an einem Workshop des International Space Science Institute (ISSI) in Bern. Die Experten waren sich einig, dass die Intensitätsschwankungen der Sonnenstrahlung einen wichtigen Einflussfaktor auf das Klima der Erde darstellen. Solare Schwankungen sind jedoch nicht der einzige auslösende Faktor für Klimaveränderungen. Die rasche Erwärmung in den letzten 20 Jahren wurde höchstwahrscheinlich durch anthropogene Treibhausgase (wie z. B. CO₂) verursacht, deren Konzentration in der Atmosphäre in den letzten 15 000 Jahren nie so hoch war wie heute.

Solare Schwankungen wirken sich zweifellos auf die Oberflächentemperatur der Erde aus, darin waren sich die Teilnehmer des Workshops «Solar Variability and Climate» in Bern einig. In der vom ISSI und ProClim herausgegebenen Pressemitteilung wurde aber auch betont, dass die Sonne nicht den einzigen Faktor darstellt, welcher für die Klimaveränderungen verantwortlich gemacht werden kann. Die Schwankungen der Sonnenstrahlung während des solaren 11-Jahres-Zyklus sind zu klein, um die heute auf der Erde beobachteten Temperaturveränderungen direkt auszulösen. Gemessen über den Sonnenzyklus beläuft sich die Amplitude der Strahlungsveränderungen auf ca. 0,1% – dies löst als direkte Folge auf der Erde Temperaturschwankungen von etwa 0,5 °C aus.

Am Workshop kamen auch indirekte Einflüsse der Sonnen-Variabilität auf das Klima der Erde zur Sprache. Allerdings sind die Mechanismen dieser indirekten Einflüsse und deren Ausmass noch weitgehend unbekannt. Die Strahlungsschwankungen im UV-Bereich sind mehr als 10mal grösser als jene der Gesamtstrahlung, vor allem in der höheren Atmosphäre. Sowohl die Strahlungs-Absorption als auch die erhöhte Ozon-Bildung führen zu Temperaturveränderungen in der Höhe und somit zu Veränderungen in der Dynamik höherer Luftschichten. Kopplungsmechanismen zwischen den hohen und den oberflächennahen Schichten könnten die Windströmungen verändern und dadurch auch zu Temperaturschwankungen an der Erdoberfläche führen.

Während den Perioden hoher Sonnenaktivität ist wegen des stärkeren solaren Magnetfeldes die Abschirmung der

Erde vor kosmischer Strahlung grösser. Aufgrund von empirischen Korrelationen wurde postuliert, dass eine Verminderung der kosmischen Strahlung zu einer Abnahme der globalen Wolkenbedeckung und daher zu einer Erhöhung der Oberflächentemperatur auf der Erde führt. Diese indirekten Auswirkungen sind nicht-linear und könnten deshalb ohne weiteres einen grösseren Einfluss haben als die direkten.

Schweizer Forschungsgruppen spielen eine führende Rolle
Die bis heute präzisesten Messungen der Sonnenstrahlung stammen vom «VIRGO»-Experiment der ESA (European Space Agency) und der NASA (Amerikanische Raumfahrtbehörde). Dieses Experiment wurde unter Leitung von Claus Fröhlich, Wissenschaftler am Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos (PMOD) in Zusammenarbeit mit anderen europäischen Instituten entwickelt und durchgeführt. Dank der Expertise des PMOD konnten die früheren Satellitenmessdaten rekaliert und mit den neuen Daten zu einer 20jährigen Messreihe zusammengefügt werden. Wichtigstes Resultat dieser Arbeit ist das Aufzeigen der grossen Konstanz der Sonnenstrahlung während der letzten 20 Jahre, abgesehen von der kleinen Modulation des Sonnenaktivitätszyklus mit einer Periode von 11 Jahren.

Wissenschaftler am Institut für Astronomie der ETH Zürich entwickelten unter Leitung von Prof. Sami K. Solanki eine Methode zur Rekonstruktion der Sonnenintensität der letzten 100 Jahre. Dabei verwendeten sie sowohl direkte Beobachtungen, Messungen der kosmogenen Isotope und weitere Daten über die Entwicklung des Sonnenmagnetfeldes. Die Resultate der ETH-Forscher zeigen eine Erhöhung der Sonnenintensität im Verlauf dieses Jahrhunderts um 2,5 W m⁻², was ca. 2,5 mal so gross ist wie die Schwankung über einen Sonnenzyklus. Vor 1980 hat die Helligkeit der Sonne zudem noch vor der Erdtemperatur zugenommen. Dies stärkt die Hypothese eines Einflusses der Sonne auf das Klima in diesem Jahrhundert.

Veränderungen in der Sonnenstrahlung werden vor allem mit Schwankungen der magnetischen Aktivität der Sonne in Verbindung gebracht, welche sich z. B. in der Anzahl Sonnenflecken manifestiert. Das sogenannte «Maunder-Minimum» im 17. Jahrhundert bezeichnet beispielsweise eine Periode von 30 Jahren, in welcher nur sehr wenige Sonnenflecken beobachtet wurden. In derselben Periode wurde auf der Erde eine Kälteperiode, «Kleine Eiszeit» genannt, beobachtet.

Die Sonnenaktivitätsschwankungen sind seit dem 17. Jahrhundert durch Auszählen der Sonnenfleckenzahl dokumentiert. Diese Information kann anhand der im Eis oder in

Baumringen eingeschlossenen Isotope mindestens 10 000 Jahre weiter zurückverfolgt werden. Diese Isotope werden durch die kosmische Strahlung gebildet, welche ihrerseits durch die Sonnenaktivität moduliert wird. Solche Messungen werden unter Leitung von Jürg Beer, Wissenschaftler an der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) in Zusammenarbeit mit dem Paul-Scherrer-Institut (PSI) durchgeführt.

Da präzise Messdaten der Sonneneinstrahlung an der Erdoberfläche nur an wenigen Beobachtungsstationen vorhanden sind und über den Weltmeeren praktisch nicht existieren, wurde auf Initiative des Welt-Klimaforschungsprogramms (WCRP) an der ETH Zürich ein langfristiges Projekt eingerichtet, das die Beobachtung des Strahlungshaushalts der Erdoberfläche und die resultierenden Klimaeffekte weltweit koordiniert. Dank diesen Resultaten liess sich die Modellierung des Energiehaushalts und des Wasserkreislaufes in den Klimamodellen bedeutend verbessern. Ziel des Projekts unter Leitung von Atsumu Ohmura, Professor am Geographischen Institut der ETH Zürich, ist es, in Zukunft die Oberflächenstrahlung flächendeckend und präzise von Satelliten aus bestimmen zu können.

Solare Schwankungen – nur einer von vielen Faktoren

Am Workshop wurde betont, dass neben den solaren Schwankungen Vulkanausbrüche und die Veränderungen der Aerosol- und Treibhausgaskonzentrationen ebenfalls wichtige Verursacher von Klimaveränderungen sind. Wie Untersuchungen von Eisbohrkernen zeigen, gab es in den vergangenen 30 000 Jahren mehrere abrupte Klimawechsel, deren Ausmass nicht mit solaren Schwankungen allein erklärt werden können.

Bestehende und rekonstruierte Datensätze erlauben die statistische Analyse der Einflüsse dieser verschiedenen Faktoren auf Klimaveränderungen während den letzten Jahrhunderten. Die Analysen, basierend auf unterschiedlichen Datensätzen, zeigen alle ein ähnliches Resultat: Die globalen Temperaturveränderungen im 17. und 18. Jahrhundert können mit den Schwankungen der Sonnenaktivität erklärt werden, d. h. es besteht eine deutliche statistische Korrelation. Seit den Anfängen des fossilen Brennstoffverbrauchs im letzten Jahrhundert wächst jedoch der Einfluss des Treibhauseffektes. In den letzten 20 Jahren ist er zu einem dominierenden Faktor geworden. Für diese Periode wird die beste Korrelation zwischen den statistischen und physikalisch-dynamischen Modellen einerseits und den effektiv beobachteten globalen Temperaturveränderungen andererseits er-

reicht, wenn alle Einflüsse (d. h. solare Strahlungsschwankungen, Vulkanaktivitäten, Aerosole und Treibhausgaskonzentration) berücksichtigt werden.

Die Beiträge des Workshops «Solar Variability and Climate» vom 28. Juni – 2. Juli 1999 werden Mitte des nächsten Jahres in Buchform erscheinen. Für weitere Auskünfte: Dr. Ruedi von Steiger, International Space Science Institute, Hallerstrasse 6, CH-3012 Bern, Tel. 031/631 48 90, Fax 031/631 48 97, E-Mail: rudolf.vonsteiger@issi.unibe.ch.

CHEMISCHE SPITZENTECHNOLOGIE IM ALTEN CHINA

Am 25. März 1974 entdeckten chinesische Bauern beim Bohren eines Brunnens in der Nähe der Stadt Xian eine unterirdische Anlage mit rund 8000 lebensgrossen Terrakotta-Soldaten und -Pferden. Diese riesige Streitmacht aus Ton hält die Archäologen und Restauratoren noch heute in Atem. Geraten nämlich die über 2200 Jahre alten Figuren in Kontakt mit der Luft, verlieren sie die Farbbemalung. Doch nun scheint das rein chemische Problem der Restaurierung gelöst zu sein, wie ein Kongress im vergangenen März in Xian zeigte: Chinesische und deutsche Forscher haben zwei Verfahren zur Konservierung der Originalbemalung entwickelt, und ein Team aus Zürich hat interessante Zusammenhänge zwischen den antiken Pigmenten Ägyptisch-Blau, Chinesisch-Blau und Chinesisch-Purpur herausgefunden.

Die vor 25 Jahren entdeckte Terrakotta-Armee in Lintong unweit der Stadt Xian gehört zum Grabmal des ersten chinesischen Kaisers Qin Shihuang, der von 259 bis 210 v. Chr. lebte. Die Tonfiguren sind von höchster handwerklicher und gestalterischer Qualität (vgl. Abb.) und geben wertvolle Hinweise zur Technik im alten China. Den überwiegenden Teil der Terrakotta-Armee haben die Archäologen noch nicht ausgegraben, weil die Figuren bei Kontakt mit Luft sehr schnell ihre faszinierende Farbbemalung verlieren. Die Ursache liegt in der Grundierung der Tonfiguren, die sich in über 2200 Jahren unter der Erde mit Wasser vollgesogen hat und gequollen ist. Sind die Figuren an der Luft, beginnt auch diese Grundierung zu trocknen, schrumpft und löst sich von der Tonoberfläche zusammen mit der Farbbemalung schalig ab. Um dieses Restaurationsproblem in den Griff zu bekommen, arbeitet das «Museum of the Terracotta Warriors and Horses» in Xian seit längerem mit dem Bayerischen Landesamt für Denkmalpflege in München zusammen.

Wie eine internationale Tagung im vergangenen März in Xian zeigte, scheint nun das rein chemische Problem der Er-



Die Terrakotta-Armee in Lintong stellt eine der ganz grossen Meisterleistungen menschlicher Kultur dar. Die einzelnen Figuren wurden vermutlich aus seriell gefertigten Elementen zusammengefügt, und vor dem Brennen wurden persönliche Gesichtszüge sowie Bart und Haartracht als separate Tonschicht aufgetragen (Bild: Heinz Berke, Universität Zürich).

haltung der Farbenpracht gelöst zu sein. Gemäss einem Tagungsbericht in der Zeitung der Universität Zürich («unijournal» 3/99) empfehlen die chinesischen Forscher, die Pigmentschicht sofort nach dem Ausgraben mit Polyethylenglykol (PEG 400), einem etwas zäheren Abkömmling des Frostschutzmittels Ethylenglykol, zu stabilisieren. Die deutschen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen dagegen schlagen eine etwas teurere Prozedur vor, bei der ein Kunststoff auf Basis eines Acrylestere (ein ganz ähnliches Material wie Plexiglas) die Bindung zwischen Farbschicht und Ton herstellt. Trotz höheren finanziellen Kosten dürfte künftig die Methode aus München angewendet werden, weil sie eine natürlichere Erscheinung der farbigen Terrakotta-Figuren bewirkt (mit PEG 400 behandelte Figuren sehen immer feucht und leicht fettig aus). Der Nachteil des deutschen Konservierungsverfahrens besteht darin, dass die Behandlung nicht reversibel ist – der Kunststoff lässt sich nicht mehr aus den Poren herausholen.

Vollsynthetische mineralische Pigmente

Die Terrakotta-Figuren sind in grossen Teilen mit Chinesisch-Blau (auch Han-Blau genannt) oder Chinesisch-Purpur (Han-Purpur) bemalt. Die Untersuchungen dieser und ver-

schiedener weiterer antiker Farbpigmente durch Heinz Berke, Professor am Anorganisch-Chemischen Institut der Universität Zürich, und Dr. Hans Georg Wiedemann vom Laboratorium für Archäometrie in Stäfa, förderte Überraschendes zutage. Wie die Analyse verschiedener kleiner Originalfarbproben zeigte, handelt es sich beim Chinesisch-Blau sowie beim Chinesisch-Purpur nicht wie ursprünglich erwartet um in der Natur vorkommende mineralische Farben, sondern um vollsynthetische mineralische Pigmente, welche vor über 2200 Jahren von chinesischen Farbstoffchemikern künstlich hergestellt worden waren.

Chinesisch-Blau hat die chemische Zusammensetzung $\text{BaCuSi}_4\text{O}_{10}$ und Chinesisch-Purpur $\text{BaCuSi}_2\text{O}_6$ (WIEDEMANN & BAYER, 1997). Beide Verbindungen sind Barium-Silikate, die sich aus einem Bariummineral (z. B. Schwespat), einem Kupfermineral (z. B. Malachit oder Azurit) und Sand (Quarz) bei ca. 1000 °C herstellen lassen. Die Zürcher Forscher fanden zudem heraus, dass Chinesisch-Purpur eine Kupfer-Kupfer-Bindung enthält. Für heutige Experten gleicht dies einer Sensation, denn Bindungen zwischen Metallen in einem keramischen Werkstoff (und als solcher müsste Chinesisch-Purpur bezeichnet werden) zählte man bisher zu den Errungenschaften moderner Technologie.

Material- und Technologietransfer über die Seidenstrasse Heinz Berke und Hans Georg Wiedemann untersuchen seit längerem auch das chemisch verwandte Ägyptisch-Blau, welches zur Zeit der Pharaonen vor rund 5000 Jahren offensichtlich aus Mangel an beständigen natürlichen Blaupigmenten erfunden worden war (BAYER & WIEDEMANN, 1976). Als Ausgangsmaterial wurde in Ägypten wohl Kalk statt Schwespat verwendet. Ägyptisch-Blau ist ebenfalls vollsynthetisch und enthält anstelle von Barium Calcium ($\text{CaCuSi}_4\text{O}_{10}$). Man nimmt an, dass die Rezeptur von Ägyptisch-Blau über die Seidenstrasse nach China abgewandert ist. Die Chinesen ersetzten dann Calcium durch Barium und entwickelten so den Farbstoff Chinesisch-Blau, der besser zu verarbeiten ist als Ägyptisch-Blau. Zudem ist die Rezeptur leicht in Chinesisch-Purpur abzuwandeln. Chinesisch-Blau und Chinesisch-Purpur lassen sich zu allen Anteilen mischen, so dass den Kunstmalern im alten China alle Schattierungen zwischen Blau und Purpur zur Verfügung standen. Leider gingen die Informationen zur Herstellung von Ägyptisch-Blau unter den Römern und von Chinesisch-Blau/-Purpur etwa 600 n. Chr. verloren und wurden erst in neuerer Zeit wieder entdeckt bzw. nachgearbeitet (WIEDEMANN et al., 1997).

Die Analyse der antiken Pigmente förderte ein hohes Niveau der Farbstoffchemie im alten China zutage. Doch auch in anderer Hinsicht dürfte die Terrakotta-Armee noch für Überraschungen gut sein. Erst vor kurzem ist den Fachleuten aufgefallen, dass die bei der unterirdischen Streitmacht gefundenen Waffen praktisch keine Korrosionsspuren zeigen. Doch noch weiss man nicht, mit welchem Überzug die chinesischen Waffenschmiede ihre Erzeugnisse schützten. Heinz Berke ist überzeugt, dass man dieses Rätsel rasch lösen könnte, falls man Proben der Originalwaffen ins Anorganisch-chemische Institut der Universität Zürich bekäme. Auf eine Fortsetzung der Erfolgsgeschichte darf man gespannt sein.

Literatur

BAYER, G. & WIEDEMANN, H.G. 1976. Ägyptisch Blau, ein synthetisches Farbpigment des Altertums, wissenschaftlich betrachtet. – Sandoz Bulletin 40, 20–39.

WIEDEMANN, H.G. & BAYER, G. 1997. Formation and stability of Chinese barium copper-silicate pigments. In: «Conservation of an-

cient sites on the silk road: Proceedings of an international conference on the conservation of grotto sites, Mogao Grottoes Dunhuang, The Peoples's Republic of China», N. AGNEW (Ed.), pp. 379–387. – Getty Conservation Institute, Los Angeles.

WIEDEMANN, H.G., BAYER, G. & RELLER, A. 1997. Egyptian blue and Chinese blue. Production technologies and applications of two historically important blue pigments. Actes de Table Ronde Ravello, pp. 195–203. – Edipulgia, Bari, Italy.

Die Beiträge der Tagung «International Congress on the Polychromy of the Terracotta Army of the First Chinese Emperor Qin Shihuang» vom 20. bis 28. März 1999 in Xian werden im Laufe des nächsten Jahres in Buchform vorliegen. Für weitere Informationen: Prof. Dr. Heinz Berke, Anorganisch-chemisches Institut der Universität Zürich, Winterthurerstrasse 190, 8057 Zürich, Tel. 01/635 46 81, E-Mail: hberke@aci.unizh.ch.

SUSANNE HALLER-BREM