

# Was macht(e) den Menschen zum Menschen?

Mit der Entzifferung ganzer Genome erschließen sich einzigartige Möglichkeiten, mehr über den Menschen und seine Stellung in der Natur zu erfahren. Zugleich haben wir aber auch die Werkzeuge in der Hand, eine Neukonstruktion unserer natürlichen Beschaffenheit anzugehen.

Von Jens Reich

**I**m April 2003 stellten die Forscher der internationalen Humangenom-Organisation eine »endgültige« Version des entzifferten menschlichen Erbguts vor – zusammen mit einer Erklärung der Regierungschefs der sechs beteiligten Staaten, in der es hieß, diese Sequenz liefere Daten, mit denen sich der Mensch besser verstehen könne. Ein großes Versprechen.

Menschenaffen und anderen Primaten gemeinsame Vorfahren haben muss. Welchen Aufruhr diese Theorie insbesondere in der Gelehrtenwelt der Geisteswissenschaften auslöste, das ist bekannt. Heftige Diskussionen werden aber in der Öffentlichkeit bis heute geführt (Stichwort: Kreationismus und Intelligent Design).

In den Jahrzehnten danach hielten neu entstandene Disziplinen wie Biochemie und Biophysik in die Humanbiologie Einzug. Und schließlich hatte sich bis gegen Ende des 20.

»Licht wird auch fallen auf den Menschen und seine Geschichte«

Charles Darwin 1859

## In Kürze

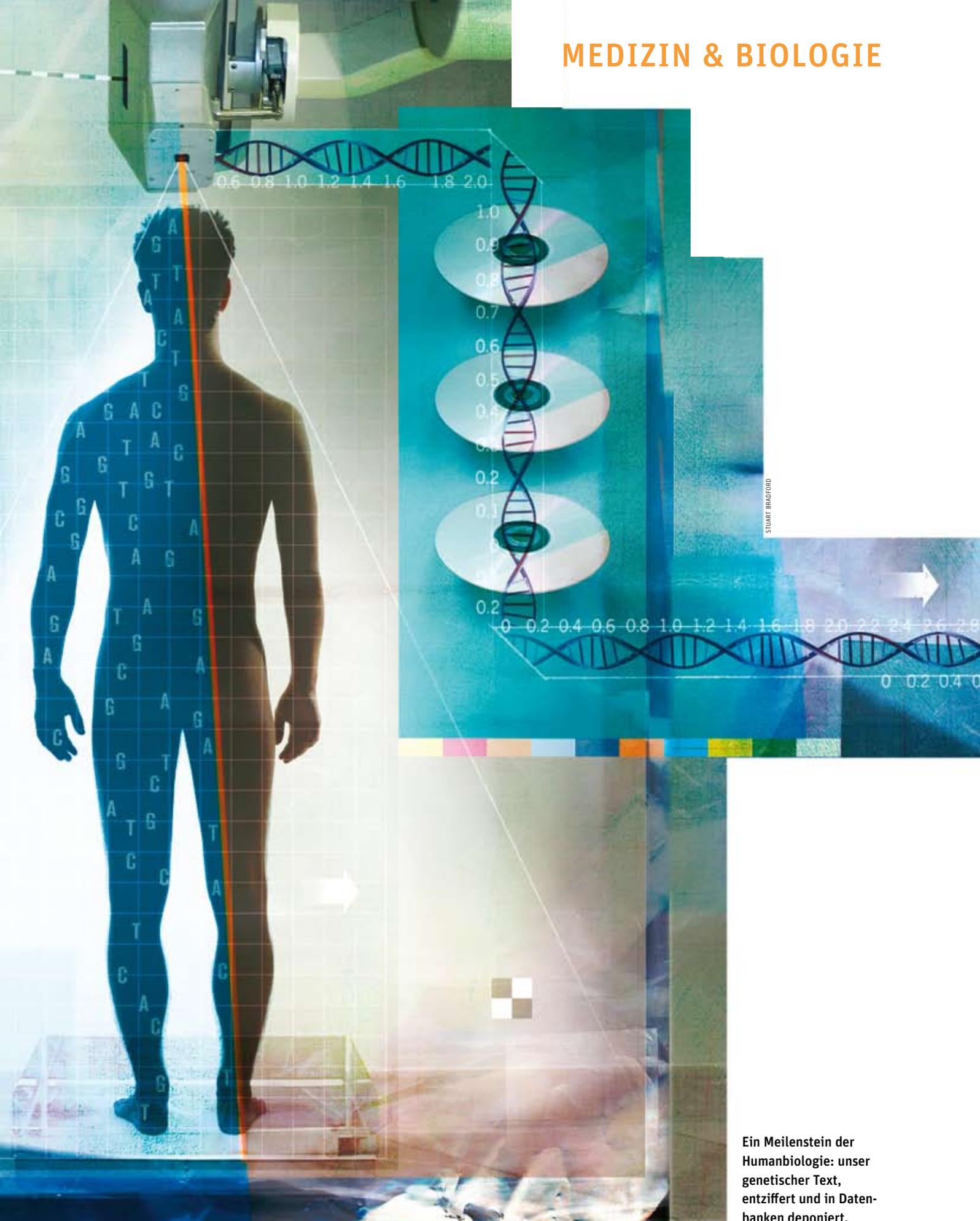
- ▶ Der einfache menschliche Genomtext umfasst rund **3,2 Milliarden Buchstaben**.
- ▶ Von seiner **gelungenen Entzifferung** und dem Vergleich mit anderen Genomen verspricht man sich unter anderem Aufschluss über die Menschwerdung.
- ▶ Auch die weitere Evolution als **Kooperationsvorgang** zwischen unserer Natur und unserer Kultur voranzutreiben, ist nicht mehr undenkbar.

Das Gelingen des Genomprojekts ist zweifelsohne einer der symbolträchtigen Meilensteine der Humanbiologie. Ihre Erkenntnisfortschritte gerade der letzten Jahrzehnte üben großen Einfluss auf die Wissenschaft vom Menschen aus: die Anthropologie. Diese hat einen naturwissenschaftlichen und einen geisteswissenschaftlichen Zweig, und beide Richtungen haben letztlich seit der Antike auf einander eingewirkt, seit die Menschen begannen, sich selbst als Gattung zu beobachten und zu beschreiben, und seit wir uns als Wesen mit Bewusstsein und rationalen Handlungsintentionen verstehen.

Eine wahre Revolution in dieser Hinsicht ereignete sich vor 150 Jahren – als die neuzeitliche Wendung der Anthropologie zur Naturwissenschaft in dem Werk von Charles Darwin kulminierte. Er beschrieb die Entstehung der Arten durch Merkmalsvariation und natürliche Zuchtwahl (Auslese) und begründete damit die moderne Evolutionslehre. Auch den Menschen, *Homo sapiens*, schloss Darwin ein. Zwar tat er das zunächst nur mit einer vorsichtigen Andeutung (siehe Zitat oben), doch legte er später explizit dar, dass der Mensch mit den

Jahrhunderts eine wieder neue Stoßrichtung herausgebildet, die den Menschen als Objekt der Forschung mit den analytischen Methoden der Molekularbiologie, der Molekulargenetik und den sie stützenden Verfahren der Informationswissenschaften untersucht. Die historische Wasserscheide zwischen der älteren, biochemisch-biophysikalisch orientierten, und der neuen, molekular-informatisch orientierten Humanbiologie liegt nach meinem Empfinden im Jahr 1953: als James Watson und Francis Crick das Modell der DNA-Doppelhelix entwickelten. Bestätigt wurde es alsbald durch die sich bewahrheitende Hypothese, dass die genetische Botschaft der Erbsubstanz DNA in der Abfolge ihrer Bausteine verschlüsselt liegt und dass der genetische Kode im Prinzip universell ist.

Faszinierend an der neuen Entwicklung war, dass die Erbanlage aller Lebewesen, auch des Menschen, im Wesentlichen als chemisch kodierter Text erkannt wurde. Lesbar wie ein Buch! Nicht in Mesopotamien wurde die Fixierung von Information als Schrift vor 5000 Jahren als typisch menschliche Errungenschaft erfunden – vielmehr hatte die Natur das be-



STUART BRADFORD

Ein Meilenstein der Humanbiologie: unser genetischer Text, entziffert und in Datenbanken deponiert.

**BILD UND BEGRIFF**

Das **Menschenbild** – angeblich durch die neueste Biotechnologie gefährdet – ist eine empirische Erscheinung, eine allgemeine Vorstellung vom Menschen, beeinflusst durch Weltanschauungen und/oder durch naturwissenschaftliche Erkenntnisse. Ein biologisch orientiertes Menschenbild wird sich zum Beispiel von einem theologisch orientierten unterscheiden.

Der **Begriff vom Menschen** ist abstrakter, greift aber tiefer: So gilt der Mensch als vernünftiges Wesen, dem seine Handlungen sittlich zurechenbar sind und für die er einzustehen hat.

reits weit vor dem Auftreten der Menschen, vor vielleicht einer Milliarde Jahren, besorgt und dann ihre Methodik der Verschriftung über die Äonen in allen Zweigen des Lebens, ob Bakterium, Pflanze oder Tier, als universelle Einheit der Biosphäre bewahrt. Und das »hehre« Erbgut des Menschen: Vollständig in dieser Sprache verfasst, bezeugt es bis in kleinste Details unsere evolutionäre Herkunft aus dem Tierreich.

Das alles blieb allerdings zunächst nur ein recht abstraktes Konzept, eine Idee, die noch nicht in praktische Arbeit umsetzbar war. Erst in den Jahrzehnten danach wurden die technischen Werkzeuge entwickelt, die es erlaubten, die Gesamtheit der Gene – das Genom – zu lesen, ihre Expression zu studieren, die Genprodukte molekular und zellbiologisch zu charakterisieren und die Regulation dieser Prozesse zu verstehen. Und wiederum sind fast alle biotechnologischen Werkzeuge nicht vom Menschen erfunden worden, sondern der Natur abgeschaut, insbesondere den Bakterien, den Meistern der Gentechnologie.

Die Ergebnisse dieser konzeptionellen und technischen Neuerungen lösten eine Datenlawine und mit ihr einen Erkenntnissschub aus, der unser Bild vom Menschen und – was noch einschneidender ist als ein sinnliches Bild – unseren Begriff vom Menschen entscheidend verändert hat (siehe Randspalte oben). Für diesen Umschwung stehen als Symbol die beiden kardinalen Fortschritte, die fast gleichzeitig mit der Wende zum dritten Jahrtausend unserer Zeitzählung bekannt gegeben wurden: die Entzifferung des menschlichen Genoms und die Kultivierung von menschlichen embryonalen Stammzellen.

Warum hebe ich gerade die Bedeutung dieser beiden Ergebnisse hervor? Ich denke, dass sie gemeinsam das molekular- und zellbiologische Programm sowie seine entwicklungsbiologischen Ausweitungen gut charakterisieren, welche die Hauptstoßrichtung der humanbiologischen und biomedizinischen Forschung des angebrochenen Jahrhunderts bilden werden. Anhand einer etwas schiefen Analogie sei dies veranschaulicht: Das Humangenom stellt sozusagen die unverzichtbare Informationsdatenbank des Lebens dar, und die embryonalen Stammzellen sind das zugehörige Computerprogramm, das man benötigt, um mit der Information sinnvoll zu arbeiten. Ohne die Technologie zur Realisierung des Programms zu beherrschen, können wir die Datenbank weder sinnvoll interpretieren noch ihre Wissensbasis aktiv nutzbar machen. Selbstverständlich gehören wie beim PC noch andere Elemente dazu, um die Software des Lebendigen in Gang zu setzen.

Grundlegendes für unser Verständnis des Menschen verspricht auch die Neurobiologie beizutragen. Sie hat die bildliche Darstellung der materiellen Prozesse in Angriff genommen, die wir subjektiv als Bewusstsein, Identität des Ich, Erinnerung, Emotionen wahrnehmen. Doch in diesem Artikel soll es um die genomische Revolution in der Humanbiologie gehen und was sie für den Begriff und das Bild vom Menschen bedeutet.

**Der künftige Mensch – ein technisches Konstrukt?**

Der Mensch ist als »Homo faber«, als Macher, als Ingenieur, zum anatomisch und physiologisch »modernen« Menschen geworden. Wann und wie das anfing, darüber streiten sich die Paläontologen und Anthropologen. Insbesondere darüber, was die auslösenden Faktoren für diese Karriere waren: Der aufrechte Gang vielleicht? Oder das große Hirnvolumen? Oder die neuen Sozialisations- und Verhaltensstrukturen bei der Neuorganisation der Familienverbände, die der Übergang aus der Baumwelt des Regenwaldes in die Bodenwelt der Savanne erforderte? All das spielte sicherlich eine Rolle, aber die genaue Ursachen- und Faktorenstruktur lässt sich nur schwer rekonstruieren.

Wie immer diese Evolution ablief – es ist unmittelbar klar, dass die Zähmung des Feuers eine wichtige, eine prometheische Rolle spielte. (Der Mensch Prometheus stahl nach der griechischen Mythologie den Göttern das in ihrem Alleinbesitz befindliche Feuer.) Wer die dem Waldbrand »abgenommene« Feuerstelle in ständiger Glut hielt oder gar Feuerstein zu nutzen verstand, konnte auch Nahrung zubereiten und leichter verdaulich machen, die Affen auf den Bäumen verwehrt blieb. Mit dem Feuer konnten unsere Vorfahren gefährliche Tiere auf Abstand halten, der Familie Nachlicht und Wärme sichern, sich schließlich Ton und Metall für Gerätschaften dienstbar machen. Wann dies allerdings im Einzelnen »erfunden« und vervollkommen wurde, ist ungewiss. Mutmaßliche Feuerstellen kennt man jedenfalls schon aus der Zeit vor 600 000 Jahren (noch ältere sind umstritten).

Die bisherige Kulturgeschichte des Menschen lässt sich als Indienstnahme und schrittweise Unterwerfung der sie umgebenden Natur beschreiben. Dies haben wir heute so weit getrieben, dass für die meisten Menschen eine zweite, künstliche Natur zur Lebenswelt wurde. Im geschlossenen Raum einer modernen Wohnung ist beinahe nichts mehr vorhanden, das noch zur ersten, unbearbeiteten Natur gehört. Selbst die »freie Natur« von Feld, Wald oder Wiese ist inzwischen weit gehend gestaltet, bearbeitet.

**JENSEITS DER KERN-DNA**

Auch die Mitochondrien, die Zellkraftwerke, besitzen eine geringe Menge DNA. Aus Relikten ausgestorbener Lebewesen ist diese **mitochondriale DNA** häufiger als Kern-DNA in noch analysierbarer Form zu gewinnen. Mitochondrien werden nur von der Mutter vererbt, über die Eizelle.

Zur Vereinnahmung der Natur kommt am Anfang des 21. Jahrhunderts nun zusammen mit den skizzierten Umbrüchen ein zweites Projekt hinzu: Der Mensch nimmt sich selbst, seine körperliche und geistige Konstitution, in technische Bearbeitung und Konstruktion.

In Ansätzen tun wir das seit Langem: mit Hilfsmitteln wie Brillen, Hörgeräten, Gehhilfen, Zahnersatz und so fort, die meist allerdings noch ausschließlich zur notdürftigen »Reparatur« von Beeinträchtigungen dienen. Selbst Herzschrittmacher und künstliche Herzklappen oder Gelenke sind noch vergleichsweise äußerliche Hilfsmaschinen, welche die Ganzheit des Körperlichen noch nicht aufheben, obwohl sie in den Körper eingebaut sind. Tiefer greifen Psychopharmaka, Hormone und andere Wirkstoffe ins Menschsein ein, wenn sie systematisch zur »Verbesserung« des Körpers und der geistigen Leistungskraft eingesetzt werden (siehe den Beitrag S. 134).

Der heute in den Bereich des Machbaren rückende genetische Neuentwurf – also die radikale Umkonstruktion der molekular-genetisch definierten Konstitution des Menschen – verlässt jedoch die Domäne einer Reparatur- oder Verbesserungsfunktion, die das »Eigentliche« noch intakt lässt. Das Design eines Menschen, für den Embryo gezielt entworfen und mit seiner Entwicklung bis zur Geburt realisiert, würde die Voraussetzung für die angestrebte Optimierung der genetischen Basis für körperliche und geistige Fähigkeiten bilden. Der Mensch würde eher als ein technisches Konstrukt sich entwickeln und heranreifen denn als Ergebnis einer kulturellen Konditionierung.

Das alles bleibt einstweilen Zukunftsentwurf, im Detail noch ungeklärt, noch Vision oder Angstvorstellung. Von aktuellem Interesse ist hingegen, was wir durch die genomische Revolution gelernt haben, die uns den *Homo sapiens* als »gläserne« Informationsdatei nahegebracht hat.

Der einfache menschliche Genomtext umfasst rund 3,2 Milliarden Buchstaben, geschrieben mit dem vierbuchstabigen Alphabet aus den DNA-Basen A, G, C und T (Adenin, Guanin, Cytosin und Thymin). Diese Information ist in 23 unterschiedlichen Dateien – spricht Chromosomen – niedergelegt, wobei zu jeder eine Art Sicherheitskopie existiert. Von Feinheiten bei den Geschlechtschromosomen einmal abgesehen gibt es also zu jedem Chromosom einen äußerlich gleichen Partner. Dessen Textdatei ist allerdings in aller Regel keine völlig identische Kopie (wie die Metapher Sicherheitskopie suggerieren könnte), sondern eine variierte Version. Verständlich – denn jedes Chromosomenpaar ist ein buch-

stäblich gemischtes Doppel: Ein Exemplar stammt von der Mutter, das andere vom Vater, und bei der Bildung der Ei- und Samenzellen hat jedes ursprüngliche Chromosomenpaar auch noch Teile zwischen sich ausgetauscht, mit allen eventuellen Druckfehlern.

Kurzum: Da sich unsere Spezies stets sexuell fortpflanzt und da dabei jedes Mal die genetischen Karten neu gemischt werden, kann man auch nicht von »dem« Genom des Menschen sprechen, als wäre es ein einheitliches und bei jedem Individuum identisches Informationsmassiv (siehe Kasten S. 68). Vielmehr erhält jeder Mensch bei der Zeugung seine eigene, einmalige Datenkombination.

### Jeder ist anders

Sind zwei Menschen nicht nah verwandt, dann ist zwischen ihnen mit einigen Millionen Unterschieden bei den 2 mal 3,2 Milliarden Buchstaben zu rechnen. Überwiegend betreffen sie einzelne Buchstaben in der Sequenz. Fachlich bezeichnet man diese Minivarianten als Einzelnukleotid-Polymorphismen (nach dem englischen Begriff abgekürzt SNPs, gesprochen: Snips). Häufiger als gedacht können auch größere Unterschiede auftreten, die mehrere Basen hintereinander oder sogar noch längere DNA-Abschnitte betreffen (siehe die Grafik S. 70 unten). Ein Beispiel dafür ist eine unterschiedliche Anzahl von Kopien eines Stücks innerhalb der gleichen Sequenz. Man spricht von Kopienzahlvarianten, nach dem Englischen kurz CNVs). In ihrer Gesamtheit sind all diese Unterschiede für die individuellen genetischen Eigenschaften verantwortlich.

Zufällige Abweichungen bei Einzelbuchstaben oder kurzen Abschnitten entstehen, wenn die DNA in den Vorläufern von Ei- und Samenzellen dupliziert wird. Denn dieser Prozess hat eine sehr hohe, aber eben keine absolute Genauigkeit. Fällt ein Duplizierfehler nicht in einen Bereich, in dem die genaue Sequenz für ein korrektes Funktionieren le-



RHEINISCHES LANDESMUSEUM BONN, H. LILIENTHAL

**Aus diesem Oberarmknochen des Neandertalers aus dem Neandertal (rechts oben; rechts die ausgesägte Probe) stammten die ersten Stücke mitochondrialer DNA einer ausgestorbenen Menschenart. Im August 2008 wurde das komplett rekonstruierte Mitochondrien-Genom eines anderen Individuums veröffentlicht.**



HEIKE KRÄNITZ/BI. ATELIER EIGEN ART



einer gegebenen Stelle ungefähr eins zu einer Milliarde. Dies bedeutet, dass in einem Genom von 2 mal 3,2 Milliarden Buchstaben etwa sechs bis sieben solcher Druckfehler mit jeder Fortpflanzung eines Individuums auftreten. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein solcher dann in der betreffenden Population ausbreitet (wenn er nicht zu den sofort eliminierten Mutationen gehört), hängt vor allem von der Größe dieser Fortpflanzungsgemeinschaft ab.

Es gibt ausgearbeitete mathematische Modelle für die genetische Drift. Bei nicht kodierenden Sequenzen – so hat sich gezeigt – etabliert sich ein solcher Druckfehler in annähernd gleichen zeitlichen Abständen während der Evolution. Die molekulare Uhr »tickt« hier also ziemlich gleichmäßig. Und das bedeutet, dass die Genome von getrennten Arten sich mit konstanter Geschwindigkeit voneinander entfernen und dass somit die Anzahl der vorhandenen Buchstabenunterschiede proportional der Zeit seit der Trennung zweier Arten ist. Die Möglichkeit, Aufspaltungen so lange zurück quantitativ nachzuweisen, erwies sich als eine große Bereicherung für die Evolutionstheorie, die zuvor immer auf die fossilen Funde, ihre unsichere Auffindung und Interpretation angewiesen war. Entsprechend kann man auch Stammbäume aus den Genomsequenzen von Primaten ableiten und zeitlich einordnen.

Seit 2005 liegt nun eine vorläufige Kompletversion eines Schimpansengenoms vor (2003 erschien eine erste »Blaupause«). Der Vergleich mit der überarbeiteten Humanversion von 2004 brachte einige merkwürdige Befunde. Manche Abschnitte der beiden unterscheiden sich so weit voneinander, dass die Trennung beider Linien vom letzten gemeinsamen Vorfahren auf zehn Millionen Jahre geschätzt wurde. Andere Abschnitte, besonders im Geschlechtschromosom X, sind viel näher miteinander verwandt. Dies lässt sich vielleicht durch die Annahme erklären, dass sich beide Linien zwar voneinander trennten, jedoch noch mehrere Millionen Jahre lang fortpflanzungsfähige Hybriden miteinander bildeten.

Übereinstimmend schließen heute die Forscher, dass die endgültige Trennung der Hominiden- und Menschenaffenlinie vor etwa vier bis sieben Millionen Jahren erfolgte. Genauer lässt sich das aus statistischen Gründen nicht abschätzen. Hominiden der Gattung *Homo* sind seit etwa zwei Millionen Jahren in Afrika, Asien und Europa fossil nachweisbar. Unser nächster Verwandter, der Neandertaler, trat vor ungefähr 120 000 Jahren auf und verschwand vor rund 30 000 Jahren. Der anatomi-



misch moderne Mensch – unsere eigene Spezies – ist nach fast übereinstimmender Ansicht in Afrika entstanden und vor ungefähr 100 000 Jahren nach Asien und spätestens vor rund 40 000 Jahren nach Europa gewandert. Über 10 000 Jahre lang haben dort *Homo sapiens* und *Homo neanderthalensis* also gleichzeitig gelebt. Die genetische Vermischung liegt nach neueren DNA-Vergleichen aber allenfalls bei ein bis zwei Prozent.

### Tierische Vettern als Vergleichsmaßstab

Mittlerweile liegen auch die Genomsequenzen von Makaken, einer Primatengattung, vor. Die von weiteren Primaten, insbesondere Menschenaffen, werden bald folgen, denn es laufen entsprechende Projekte. Damit wird man einen genaueren Verwandtschaftsbaum für die Primaten erstellen können und Aufschlüsse über evolutionäre Prozesse und die Wanderungsbewegungen unserer Vorfahren über die Kontinente erhalten.

Mensch und Schimpanse sind aus evolutionärer Sicht sehr nahe miteinander verwandt, weit näher als zum Beispiel Maus und Ratte. Als Faustregel kann man annehmen, dass etwa alle 100 DNA-Bausteine ein bis zwei Unterschiede vorkommen (entsprechend einer genetischen Distanz von nur 1,5 Prozent). Diese sind aber nicht gleichmäßig verteilt, und man wird in Zukunft genau analysieren, in welchen Abschnitten die Verwandtschaft geringer oder deutlicher ausgeprägt ist als im Durchschnitt.

Einzelne DNA-Segmente könnten Gene oder regulatorische Elemente enthalten, deren Sequenzen sich sehr schnell auseinanderentwickelt haben und die daher mutmaßlich für die Menschwerdung besonders wichtig gewesen sind. Auch qualitative Unterschiede (wie Vorhandensein oder Fehlen eines Gens, Vor-

**Der Mensch besitzt 23 Chromosomenpaare, wobei beim Mann das X-Chromosom ein Y zum Partner hat. Trotz äußerlicher Gleichheit variieren die DNA-Sequenzen eines Chromosomenpaares untereinander wie auch von Mensch zu Mensch.**

### VIEL SCHROTT?

Die für Proteine kodierende Information macht bei Primaten nur etwa 1,5 Prozent des gesamten Genomtextes aus. Der weitaus größere Textanteil ist nicht kodierend, teils zwischen den kodierenden Abschnitten eines Gens als »Introns« eingestreut, teils zwischen den Genen. Man hat ihn als **Schrott, als Unsinn aufgefasst**, findet aber darin nun mehr und mehr Sequenzen mit offenbar biologischer Funktion, beispielsweise für so genannte Mikro-RNAs, die als Regulatoren dienen.

PERSÖNLICHES GENOM

**Es gibt Bestrebungen, das individuelle Genom** nicht nur für einige Prominente, sondern für jeden Menschen zu ermitteln und ihm auf einem Datenspeicher zur Verfügung zu stellen. Realisierbar wird dies, wenn durch neue Verfahren die Kosten der Sequenzierung weiter drastisch fallen.

Mit einer diskreten Behandlung der Erbanlagen eines Menschen wäre es dann allerdings der Tendenz nach vorbei. Um Missbrauch auszuschließen, muss man daher genau überlegen, wie mit dieser Information umzugehen ist. Die genaue Kenntnis des individuellen Genoms

könnte allerdings dem Einzelnen auch zum Segen gereichen, so dass es abzuwägen gilt.

Ein Beispiel: Wirksamkeit und schwere Nebeneffekte bei Medikamenten hängen von der genetischen Ausstattung des Individuums ab. Unter anderem ist die Leistungsfähigkeit der biochemischen Abbauketten für synthetische Pharmaka individuell ganz verschieden. So könnte man etwa eine bestimmte belastende Chemotherapie von vornherein vermeiden, wenn sich ihre Wirkungen aus dem Genom vorhersagen und andere Behandlungsvarianten vorschlagen ließen.

kommen von Genverdopplungen und Umlagerungen) geben entscheidende Hinweise auf den evolutionären Gang der Menschwerdung.

Man darf sich allerdings nicht einbilden, diese Befunde wären leicht interpretierbar: Das Genom beider Spezies ist zu komplex aufgebaut, und bei der Ablesung der Gene können selbst geringe Unterschiede schon hochbedeutsam sein. Dass eines Tages die Schlagzeile »Für Menschsein verantwortliches Gen gefunden!« erscheinen wird, ist eher unwahrscheinlich. Wahrscheinlich ist bei der nahen Verwandtschaft von Menschenaffen und Menschen hingegen, dass sich Gründe für die Entstehung von genetischen Defekten oder anderen Krankheiten auffinden lassen, sofern sie am Genom und nicht ausschließlich in der Lebenswelt liegen.

Kann aber die vergleichende Genomforschung zumindest eine Antwort auf die seit undenklichen Zeiten aktuelle Frage geben, was den Menschen zum Menschen macht? Es wäre naiv, diese Frage mit einem einfachen Ja zu beantworten. Dazu ist das Menschsein viel zu sehr an die Entwicklung einer hoch spezialisierten Kultur gebunden, die bekanntlich einen Überbau darstellt, für den die Genetik zwar die notwendigen Grundlagen liefert, aber dessen Ausprägung entscheidend von den Um-

welt- und Lebensbedingungen von menschlichen Populationen abhängt. Wir werden vielleicht eines Tages herausfinden, welche genetischen Faktoren dafür verantwortlich sind, dass Menschen ein derart hoch entwickeltes Großhirn im Vergleich zu den Affen aufweisen (siehe auch den Beitrag S. 124).

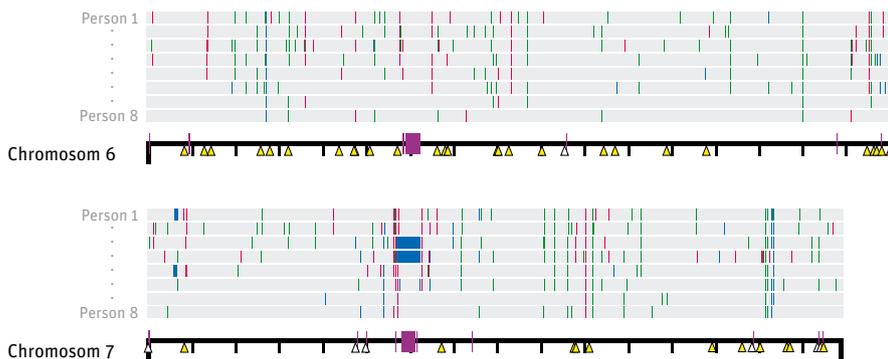
**Henne oder Ei?**

Gleichwohl ist die vergleichende Erforschung der biologischen Eigenschaften von Primaten und ihrem für uns prominentesten Vertreter, dem Menschen, ein Baustein für die Klärung entscheidender physiologischer und pathologischer Fragen. Ein Beispiel: Schimpansen können nicht sprechen, eigentlich nur Grunzlaute von sich geben. Das liegt nicht daran, dass sie völlig »dumm« wären – man hat bekanntlich besonders gelehrige Schimpansen dazu gebracht, eine einfache Zeichensprache zu verstehen und mit Zeichen sinnvoll zu antworten. Es ist vielmehr der Bau des Kehlkopfs, der es ihnen völlig unmöglich macht, geformte Laute hervorzubringen. Hier wäre es natürlich interessant, die entwicklungsbiologischen Gründe für diesen ausgeprägten Unterschied aufzuklären. Was ist der Ursprung – die Henne oder das Ei? Hat die Sprachfähigkeit einen Auslesedruck in Richtung auf die menschliche Gestaltung des Kehlkopfs hervorgebracht oder war umgekehrt eine Mutation der Anatomie des Kehlkopfs die Voraussetzung für die Entwicklung einer differenzierten Sprache?

Auf der höheren Ebene der Individual- und Gruppenpsychologie kann das vergleichende Studium ebenfalls wichtige Erkenntnisse erbringen. Hier ist der Meinungswechsel der berühmten Schimpansenforscherin Jane Goodall interessant, die seit Jahrzehnten immer wieder Schimpansenhorden im Regenwald beobachtet. In der ersten Zeit erschienen

**Größere Unterschiede wie Einschübe oder Umkehrungen sind im Erbgut häufiger als gedacht, erkennbar am Beispiel von acht Menschen verschiedener Herkunft. Derartige Unterschiede zur Referenzsequenz von Chromosom 6 und 7 sind hier dargestellt.**

- Deletion (fehlendes Stück)
- Inversion (Umkehrung)
- Insertion (Einschub)
- Centromersequenzen
- △ neueartige Sequenzen



SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT / ART FOR SCIENCE, NACH: JEFFREY M. KIDD ET AL., NATURE 2008, BD. 453, NR. 7191, S. 58

**[ACHTUNG! KLASSIK RADIO LÖST TRÄUME AUS]**

*Auf der anderen Seite liegt ein kleines Dorf.  
Wir sitzen oft auf der Veranda und schauen hinab ins Tal.  
Mit dicken Mänteln und heißem Tee.  
Die Sonne spielt leise auf dem Klavier.*

Die Welt der **New Classics**. Täglich 20:00 bis 22:00 Uhr.

- ▶ **Klassik Hits** 06:00 bis 18:00 Uhr
- ▶ **Klassik Lounge** ab 22:00 Uhr
- ▶ **Filmmusik** 18:00 bis 20:00 Uhr
- ▶ **Entscheidernews** alle 30 Minuten

Deutschlandweit zu empfangen. Alle Frequenzen unter [www.klassikradio.de](http://www.klassikradio.de)



Bleiben Sie entspannt.

ihr Schimpansen mit ihrem ausgeprägten Gruppenleben eher friedliche Gesellen zu sein, bei denen es nur beim Wettbewerb um den Sexualpartner zu Konflikten kommen kann. Sie beschrieb, wie der Gruppenzusammenhalt hergestellt und gefördert wird: durch das Grooming, die Streichelpflege des Fells des Gruppenmitglieds. Der ziemlich idyllische Gesamteindruck änderte sich, als sie später Konfrontationen zwischen Schimpansenklans beobachten konnte. Brutale, tödlich endende Hetzjagden und Kämpfe kamen zu Tage, die es fraglich erscheinen lassen, ob der Schimpanse wirklich der »bessere Mensch« sei. Der nahe Verwandte des Schimpansen, der Bonobo oder Zwergschimpanse, zeigt demgegenüber eine weit geringere Aggressivität zwischen Gruppen (was ist wohl an seinen Genen anders?).

Interessant an diesen Erkenntnissen von Jane Goodall und anderen Primatenforschern ist nun, dass viele Verhaltensweisen den menschlichen ähneln. Auch Menschengruppen zeigen ein ausgeprägtes kooperatives Verhalten innerhalb der eigenen Gruppe und neigen zu scharfer Aggression, Kriegführung, Sklavenhalterei und so fort gegenüber Außenstehenden. Wie Studien an isoliert lebenden Urwaldmenschen zeigen, ist dies nicht etwa nur ein Ausfluss der modernen Zivilisations- und Staatenbildung.

Auf jeden Fall sind die emotionalen Elemente, die unser Gruppenverhalten erst stabil machen (wie Liebe, Freundschaft, Zuneigung, aber auch Furcht, Hass, Fremdenangst), bei Schimpansen und Menschen oft erstaunlich ähnlich und auch als konstitutionelle Anlage im jeweiligen Genom und dem zugehörigen Entwicklungs- und Reifeprozess auf komplexe Weise verankert. Das vergleichende soziobiologische beziehungsweise evolutionspsychologische Studium der Primaten könnte die natürliche Grundlage für solche Verhaltensstereotype auffinden helfen, wobei sich Gegner wie Befürworter dieser Konzepte vor ideologischen Überspitzungen hüten müssen.

Als Ausblick am Beginn der neuen Entwicklungs- und Verhaltensbiologie des 21. Jahrhunderts drängt sich ein Blick in die Zukunft auf. Wir Menschen haben Werkzeuge in der Hand, um das Projekt einer »optimalen« Neukonstruktion unserer eigenen natürlichen Beschaffenheit anzugehen. Wir könnten dabei:

- schwere Krankheiten verhüten oder heilen,
- das Leben um Dekaden verlängern,
- die Evolution als Kooperationsvorgang zwischen unserer Natur und unserer Kultur vorantreiben,

- als Eltern entscheiden, welche Merkmale unsere Kinder haben oder nicht haben sollen und das für unsere Kinder verwirklichen, was ihnen die Natur vorenthält,
- Nachkommen auswählen, die Hochleistungen mentaler oder körperlicher Art vollbringen, zu denen die natürlich gezeugten nicht fähig wären.

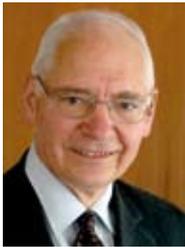
### Schimpansen haben keine Zweifel

Mit beflügelter Fantasie lassen sich zahllose weitere Szenarien ausmalen, welche Entwicklungen noch denkbar sind. Die Tatsache, dass der Mensch in seinem Drang, die Gesetze seiner Natur zu überwinden, vor Risiken nie zurückscheute, lässt starke Bestrebungen erwarten, die neuen Möglichkeiten einer technischen Vervollkommnung auch auszuloten. Menschen haben Automobile erfunden, sind in die Tiefe getaucht, haben fliegen gelernt und sind auf den Mond gereist. An Motivation wird es nach aller Erfahrung nicht fehlen.

Aber wollen wir wirklich eine Entwicklung wie die skizzierte haben? Muss da nicht irgendwo ein Halteschild mit der Aufschrift »Bis hierher und nicht weiter!« aufgestellt werden? Sind wir reif, die ethischen Konflikte auszutragen, die in der menschlichen Gesellschaft aufkommen, wenn der Weg der gentechnischen Umkonstruktion von einigen Mitgliedern beschritten und von anderen verweigert wird?

Ich bekenne, dass ich keine überall gültige Antwort zu skizzieren vermag. Ich fände es großartig, wenn der Menschheitstraum eines Jungbrunnens teilweise wahr würde und die Menschen bei guter Gesundheit noch viel älter werden können, wenn es keine Parkinsonkrankheit, keinen Schlaganfall, Alzheimer oder Krebs mehr gäbe (immer vorausgesetzt, solchen Krankheiten lässt sich wirklich molekularmedizinisch beikommen). Gleichzeitig bezweifle ich aber, dass eine Gesellschaft stabil zu funktionieren vermag, in der die Mitglieder 150 Jahre oder älter werden und die drohende Überbevölkerung nur durch noch weniger Kinder zu kontrollieren sein wird. Der Mensch müsste sich von seinem Drang nach technischem Fortschritt lösen, der ihn seit hunderttausenden Jahren getrieben und vom Tier zum Menschen gemacht hat. Dass es erreichbar sein soll, in Selbstbescheidung nicht durch das offene Tor in diese beängstigend-faszinierende Zukunft hindurchzutreten – da habe ich große Zweifel.

Aber schließlich gehört auch der Zweifel zum typischen Menschsein. Schimpansen haben keinen Zweifel an ihren Erkenntnissen und Möglichkeiten. ◀



**Jens Reich** spezialisierte sich nach seiner Promotion in Medizin auf Biochemie und Mathematische Biologie. Er gehörte zur Bürgerrechtsbewegung der DDR, und nach der Wiedervereinigung war er 1994 parteiunabhängiger Kandidat für die Bundespräsidentschaft. Seit 1992 leitet er eine Arbeitsgruppe für Bioinformatik am Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in Berlin-Buch. Er ist Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften und des Deutschen Ethikrats.

**Bräuer, G.:** Der Mensch tritt auf. In: Raumschiff Erde. Spektrum der Wissenschaft Spezial 2/2007, S. 44 – 51.

**Church, G. M.:** Das Projekt persönliches Genom. In: Spektrum der Wissenschaft 6/2006, S. 30 – 36.

**The International HapMap Consortium:** A Haplotype Map of the Human Genome. In: Nature 437, S. 1299 – 1320, 2001.

Weblinks zu diesem Thema finden Sie unter [www.spektrum.de/artikel/969249](http://www.spektrum.de/artikel/969249).