



# Die Werkzeuge der Evolution

**DIE WELT:** 2009 feiern wir 150 Jahre Evolutionstheorie von Charles Darwin. Zu Recht? Joachim Bauer: Ja! Darwin hat erkannt, dass die Evolution ein Entwicklungsprozess ist und alle Lebewesen einen gemeinsamen Stammbaum haben. Wir sollten ihn als großen Aufklärer feiern, dem wir die Ablösung des wissenschaftlich unbrauchbaren, biblischen Weltentstehungsmodells verdanken. Doch in wichtigen Punkten, die den Prozess der Evolution betreffen, werden wir die Dinge anders sehen müssen.

**Zum Beispiel?**

**Bauer:** Ein zentrales darwinisches Dogma sagt, Veränderungsprozesse im Erbgut seien das Ergebnis eines reinen Zufallsgeschehens. Neue Arten entstanden durch die Addition rein zufällig entstandener Variationen im Zusammenspiel mit der Selektion, die aus zufällig aufgetretenen Veränderungen das jeweils am besten Angepasste auswählte. Die Theorie der rein zufallsbestimmten Variation ist nicht mehr haltbar. Zellen, aus denen bekanntlich alle Lebewesen bestehen, haben die Fähigkeit, die Architektur ihres eigenen Erbgutes zu verändern. Weder die Zeitpunkte, wann sie dies tun, noch die Art und Weise, wie sie es tun, sind zufällig. Veränderungen der genomischen Architektur ereignen sich vorzugsweise dann, wenn Lebewesen unter starkem ökologischem Stress stehen. Auch ihrer Art nach sind die Veränderungen nicht zufällig, sondern stellen einen kreativen Prozess dar, der Regeln folgt, die im biologischen System selbst begründet sind.

**Ist das Wort kreativ an dieser Stelle nicht gefährlich? Könnte man nicht denken, Sie reden den Kreationisten das Wort?**

**Bauer:** Der Kreationismus ist Unsinn und mit wissenschaftlicher Biologie unvereinbar. Nein, das Wort kreativ bezeichnet hier einen Prozess, bei dem etwas Neues entsteht. Das Entscheidende bei genomischen Umbauschüben, die zur Entstehung neuer Arten führen, ist die Duplikation von Genen. Dabei werden von der Zelle bevorzugt solche Gene verdoppelt, die bisher in starkem Gebrauch waren, sich also als besonders nützlich erwiesen haben. Jeder evolutionäre Entwicklungsschub hatte also eine Erweiterung des Genoms und einen Komplexitätszuwachs zur Folge.

**Sind diese evolutionären Entwicklungsschübe also Evolution in der Evolution?**

**Bauer:** Sprünge ist ein missverständliches Wort. Richtig ist, dass sich genomische Entwicklungsschübe und die Entstehung neuer Arten evolutionär gesehen in relativ kurzen Phasen abgespielt haben. Die bisherige, auf Darwin zurückgehende Annahme war, das Entstehen und Verschwinden von Arten sei Ergebnis eines kontinuierlichen, von der Selektion geleiteten Veränderungsprozesses. Tatsächlich aber verlief sowohl die Entstehung von Arten als auch ihr Verschwinden in Schüben. Dazwischen zeigt die Evolution lange Phasen einer sogenannten Stasis, in denen Arten stabil blieben.

Darwins Theorie kann das Entstehen des Menschen nicht erklären – behauptet Professor Joachim Bauer. Wie funktioniert die Evolution aber dann?



**Was genau passiert im Genom, wenn Entwicklungsschübe stattfinden?**

**Bauer:** Im Genom jedes Lebewesens befinden sich genetische Werkzeuge, sogenannte Transposable Elements. Wenn die Zelle Transposable Elements, die normalerweise unter strikter Kontrolle gehalten werden, plötzlich von der Leine lässt, dann beginnen sie, wie Werkzeuge aktiv zu werden und das eigene Erbgut umzubauen. Dabei passiert zweierlei: Zum einen werden Gene von einer Stelle an eine andere umgesetzt. Zum anderen – und das ist bedeutender – werden Gene dupliziert, wobei die Kopien wieder ins Genom eingebaut werden. Das ist der Grund, warum die Evolution systematisch in Richtung immer höherer Komplexität verlief. Mit Darwins Theorie der zufallsgesteuerten Variation und anschließender Selektion kann man die systematische Entwicklung hin zu immer komplexeren biologischen Wesen nicht erklären.

**Wenn sich das Genom also selber zielgerichtet umbaut, könnte man dann sagen: Der Schöpfer steckt im Genom?**

**Bauer:** Naturwissenschaftler sind ausschließlich für die rationale Aufklärung von Naturphänomenen zuständig. Sie können zu Fragen, die Gott betreffen, mit naturwissenschaftlichen Methoden keine Aussagen machen, weder pro noch contra. Umgekehrt können Konzepte wie der Kreationismus oder das „Intelligent Design“ nicht Teil einer naturwissenschaftlich begründeten Biologie sein. Antireligiöse Polemiken wie jene von Richard Dawkins sind jedoch weder naturwissenschaftlich begründbar noch hilfreich.

**Inwieweit sind denn die durch evolutionäre Entwicklungsschübe entstehenden Lebewesen überlebensfähig?**

**Bauer:** Die meisten Neubildungen dürften sozusagen „dead on arrival“ gewesen sein, das heißt von Anfang an weder lebensnoch vermehrfähig. Die Selektion bleibt also eine Tatsache, allerdings in einem wesentlich anderen Sinne als bei Darwin. Bei ihm war die Selektion, indem sie aus den zufällig entstandenen Variationen auswählte, das Hauptsteuerungselement bei der Entstehung neuer Arten. Durch zufällige Mutationen und Selektion ist jedoch keine einzige Art entstanden. Stattdessen haben lebende Systeme im Rahmen ihrer Kreativitätsschübe immer wieder etwas Neues bereitgestellt, aus dem dann die Selektion auswählen konnte.

**Welche Rolle spielt der Zufallsfaktor, wenn die genetischen Werkzeuge in Aktion treten und das Erbgut umbauen?**

**Bauer:** Er bleibt durchaus im Spiel, aber auf eine völlig andere Art als bei Darwin. Biologische Systeme jonglieren mit dem Zufall, sie kalkulieren ihn gezielt mit ein: In bestimmten Bereichen des Erbgutes werden zufällige Mutationen von der Zelle aktiv verhindert, an anderen Stellen dagegen werden sie selektiv zugelassen. Konkret: Wenn Zellen einen Umbauschub anwerfen und Gene duplizieren, dann werden die Original-Gene, die als Vorlage für die Duplikation dienen, im weiteren Verlauf vor Mutationen aktiv geschützt, die Zelle konserviert also ihren „eisernen Bestand“. Dies ist der Grund, warum Menschen in ihrem Erbgut Hunderte von Genen haben, die sich bereits bei einzelligen Lebewesen finden lassen. Im Gegensatz dazu werden die Gen-Duplikate aktiv für Mutationen freigegeben, sodass hier durch zufällige Veränderungen etwas Neues entstehen kann. Zellen können also Einfluss darauf nehmen, wo sie dem Zufall Raum geben. Die Evolution folgt einer Art Standbein-Spielbein-Strategie: Aktive Bewahrung und gleichzeitig aktiv geförderte selektive Variation.

**Wäre es also möglich, dass sich aus dem heutigen Homo sapiens verschiedene neue Menschenarten entwickeln?**

**Bauer:** Langfristig ja. Auslöser für den Umbau des Erbgutes sind Veränderungen der Umwelt. Wenn schwere ökologische Stressoren auftreten – seien sie vom Menschen selber verursacht oder natürlich gegeben –,

kann das entweder zur Auslöschung des Menschen führen oder aber eine schubartige genetische Weiterentwicklung anstoßen. Mein Rat wäre allerdings, es darauf nicht ankommen zu lassen.

**Nehmen wir einmal an, das passiert also irgendwann. Ab welchem Punkt spricht man dann von einer neuen Art?**

**Bauer:** Der Evolutionsbiologe Ernst Meyer hat Arten als Fortpflanzungsgemeinschaften definiert. Allerdings hat sich die Evolution nicht immer lehrbuchmäßig verhalten, denn bisweilen haben sich auch Vertreter, die bis dahin verschiedenen Arten angehört, gekreuzt. Zum Beispiel haben sich Vorläufer des Menschen erwiesenermaßen mit Schimpansen gepaart ...

**... und auch mit dem Neandertaler?**

**Bauer:** Könnte der Fall gewesen sein, ist meines Wissens aber noch umstritten.

**Wenn Arten Fortpflanzungsgemeinschaften sind, dann kann in einer globalisierten Welt mit globalem Kreuzungsdruck doch überhaupt keine neue Menschenart mehr entstehen. Es ist kaum vorstellbar, dass hier an einer Stelle keine sexuelle Fortpflanzung mehr möglich sein sollte?**

**Bauer:** Wenn ein schwerer ökologischer Stressor dazu führen würde, dass mehrere Individuen einer neuen menschlichen Variante auftauchen, und wenn sich diese dann nur mit ihresgleichen kreuzen, dann schon.

**Wenn sich das Genom unter dem Einfluss äußerer Faktoren aktiv weiterentwickeln kann, gibt es damit nicht wieder Raum für die Theorie von Lamarck, wonach Erfahrungen das Erbgut verändern können?**

**Bauer:** So, wie es sich Lamarck vorgestellt hat, läuft es garantiert nicht ab. Allerdings können Umweltfaktoren über sogenannte epigenetische Mechanismen die Ablesbarkeit von Genen langfristig beeinflussen. Epigenetische Veränderungen können in Einzelfällen sogar vererbbar sein. Mit Blick auf die Evolution stehen die erwähnten genomischen Umbauschübe im Vordergrund. Da bei Genduplikationen speziell solche Gene berücksichtigt werden, die schon bisher stark im Gebrauch gewesen sind, kommt eine Art „Lamarckismus auf Genebene“ ins Spiel. Falls beim Menschen die Gene des Gehirns besonders gefordert bleiben, dann darf – falls wir einen genomischen Entwicklungsschub erleben sollten – daher künftig durchaus mit einem Zuwachs an neuronaler Komplexität gerechnet werden.

**Welche Bedeutung haben im Erbgut des Menschen jene Bereiche, die bisweilen als „Junk-DNA“, also als „DNA-Müll“, bezeichnet werden?**

**Bauer:** Nach der vollständigen Sequenzierung des menschlichen Genoms zeigte sich, dass die etwa 23 000 Gene, die Pro-

teine kodieren, nur 1,2 Prozent der gesamten DNA ausmachen. Die anderen 98,8 Prozent hielten manche für „DNA-Müll“, einige Soziobiologen dachten sogar, hier sei nun endlich der erhsehnte Nachweis für die „egoistischen“ Gene. Tatsächlich ist es aber so, dass über 40 Prozent des gesamten menschlichen Erbgutes aus Transposable Elements bestehen, also aus genetischen Werkzeugen, mit denen Zellen ihr Genom umbauen und weiterentwickeln können. Aber auch die restlichen rund 45 Prozent des Genoms sind keinesfalls Junk-DNA, sondern für die Produktion von speziellen RNA-Varianten verantwortlich, die eine wichtige Rolle bei verschiedenen regulatorischen Prozessen der Zelle spielen.

**In der Mathematik werden sogenannte genetische Algorithmen erfolgreich zur Lösung von Optimierungsproblemen eingesetzt. Diese basieren letztlich auf dem darwinischen Evolutionsmodell von Mutation und Selektion. Sollten sich mit dem neuen, verfeinerten Bild von der Evolution nicht auch diese mathematischen Algorithmen noch weiter verbessern lassen?**

**Bauer:** Ja, durchaus. Mathematische Algorithmen, die auf rein zufallsbedingten Veränderungen und anschließender Selektion basieren, dürften nicht in der Lage sein, in systematischer Weise immer komplexere Systeme entstehen zu lassen. Das jetzt erkannte und übertragbare Erfolgsrezept der Evolution lautet: Bewährtes aktiv sichern beziehungsweise konservieren und besonders Bewährtes duplizieren und die Duplikate selektiv variieren. Das Leben auf unserem Globus konnte überleben, weil biologische Systeme den wiederholten schweren Auslöschungsbedrohungen immer wieder ihr dynamisches Entwicklungspotenzial entgegenstellen konnten, welches der Standbein-Spielbein-Strategie folgte.

**Das Interview führte Norbert Lossau**

**Joachim Bauer (57) studierte Medizin und ist seitdem als Laborforscher medizinisch-klinisch tätig. Er war Projektleiter in drei Sonderforschungsbereichen der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Bauer hat mehr als 100 Originalarbeiten in internationalen Fachzeitschriften publiziert. 1988 und 1989 forschte er am Mount Sinai Medical Center in New York. Seit 1992 ist er Professor für Psychoneuroimmunologie. Im Jahr 1996 erhielt Bauer den Forschungspreis der Deutschen Gesellschaft für Biologische Psychiatrie. Bauer ist Autor mehrerer populärwissenschaftlicher Bücher. Zuletzt erschienen ist von ihm im Hamburger Verlag Hoffmann und Campe „Das kooperative Gen“, 224 Seiten, 19,95 Euro.**



## Sparsamer auf Stand-by schalten

BRÜSSEL/STRASSBURG – Sogenannte Stand-by-Schaltungen an Fernsehern, Computern oder Stereoanlagen sollen ab 2010 sparsamer werden. Eine entsprechende Verordnung der Öko-Design-Richtlinie wird nach Angaben der EU-Kommission in Kraft gesetzt. Demnach dürfen ab 2010 keine Geräte mehr auf den Markt kommen, die im Stand-by-Modus mehr als ein Watt verbrauchen. Ab 2014 wird der Verbrauch auf 0,5 Watt begrenzt. Bis 2020 werde dies den Stromverbrauch im Stand-by-Betrieb um 75 Prozent reduzieren, sagte Energiekommissar Andris Piebalgs. Dadurch würden „Millionen Tonnen an Kohlendioxid“ eingespart.

Dank der neuen Verordnung würden mittelfristig „Millionen stiller Stromfresser“ verschwinden, betonte der CDU-Europaabgeordnete Peter Liese. Die Kommission habe errechnet, dass damit EU-weit jährlich so viel Strom eingespart werden könne, wie Dänemark pro Jahr verbrauche. Die Stromverbraucher in der EU würden demnach rund 4,8 Milliarden Euro einsparen. Die Vorschriften gelten gleichermaßen für Geräte, die in der EU hergestellt oder dort importiert werden. Die Neuregelung zu Stand-by-Schaltungen ist eine von zahlreichen Maßnahmen der Öko-Design-Richtlinie, die Strom fressende Geräte umweltfreundlicher machen soll. Dazu gehören auch energiesparende Glühbirnen, die ab 2012 obligatorisch werden sollen. AFP

## WISSENSCHAFT

### BIOLOGIE

#### Fische schwimmen zielgenau

Bestimmte Fischarten können in Sekundenbruchteilen Einflüsse der Strömung berechnen. Dafür reicht ihnen eine simple Architektur von Gehirn und Nervensystem, wie Biologen der Universität Erlangen-Nürnberg herausgefunden haben. Die Wissenschaftler hatten mittelamerikanische „Machaca“-Fische untersucht, die sich von Feigen ernähren und in Ufernähe warten, bis die reifen Früchte ins Wasser fallen. Die Fische passen sich den Gegebenheiten nicht etwa in Form eines Zickzack-Kurses an. Vielmehr kennen die Fische den direkten Weg, noch bevor die Feigen aufs Wasser prallen. Die Wissenschaftler wollten herausfinden, wie komplex die Mechanismen sein müssen, die es Tieren ermöglichen, ihr Ziel auch bei Einflüssen wie Wind oder Strömung zu erreichen. In „Current Biology“ schreiben sie, dass die Fische dazu ein einfaches Nervennetzwerk verwenden. Mit dieser simplen Architektur von Gehirn und Nervensystem könnten sich die Fische blitzschnell durch das Wasser zum Ziel navigieren. dpa

### PALÄONTOLOGIE

#### Neuer Dinosaurier entdeckt

Argentinische Forscher haben in Patagonien einen bisher unbekanntem fleischfressenden Dinosaurier gefunden. Das Fossil des etwa fünf Meter langen und 370 Kilogramm schweren *Austroraptor cabazai* sei in Bajo de Santa Rosa in der Provinz Rio Negro ausgegraben worden, sagte der Paläontologe Fernando Novas. Der *Austroraptor cabazai* stelle ein wichtiges Bindeglied in der Entwicklung der Flugfähigkeit von Dinosauriern dar. Mit seinen extrem kurzen Vorderarmen erinnere das Tier, das vor etwa 70 Millionen Jahren lebte, an einen kleineren Bruder des *Tyrannosaurus rex*. Es gehörte vermutlich zu den intelligentesten Exemplaren der Gruppe, die vor allem durch Filme wie „Jurassic Park“ als gefährliche Jagddinosaurier bekannt wurden. Der Kopf des *Austroraptor* war ungewöhnlich lang und der Körper vermutlich mit Federn bedeckt. dpa

### ASTRONOMIE

#### Wasser im frühen Universum

Bonner Astronomen haben im Universum Wasseranteile in der bisher größten bekannten Entfernung zur Erde nachgewiesen. Nach Berechnungen der Forscher ist es 11,1 Milliarden Lichtjahre entfernt. Die Wasseranteile seien in dem Quasar MG J0414-0534 entdeckt worden, schreibt das Team vom Max-Planck-Institut für Radioastronomie in „Nature“. Bei diesem Quasar werde auf eine Zeit zurückgeblückt, in der das Universum nur ein Fünftel seines heutigen Alters gehabt habe. Als Quasar bezeichnen Physiker meist weit entfernte aktive Galaxien. Die Forscher vermuten, dass das entdeckte Wasser Bestandteil von Gas- und Staubwolken ist, die zum extrem massereichen Schwarzen Loch im Zentrum des Quasars strömen. dpa