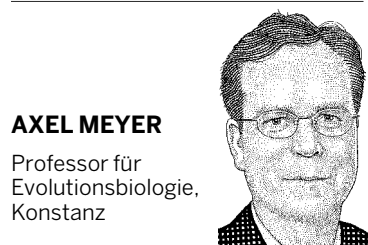


QUANTENSPRUNG

Hoffnung für Darwins Schildkröten

Als Charles Darwin im Jahr 1835 die Galapagos-Inseln besuchte, gab es dort noch fünfzehn Arten von Riesenschildkröten. Seit spätestens 1850 – also innerhalb einer Schildkrötengeneration, denn die Tiere können über 150 Jahre alt werden – sind vier dieser fünfzehn Arten ausgestorben.

Für Seeleute im Pazifik und im Indischen Ozean waren Riesenschildkröten ein beliebter lebender Proviant. Darwin berichtete, dass manche Schiffe bis zu 700 Tiere bunkerten. Daran ging die Art Geochelone elephantopus zugrunde: Die auf der Insel Floreana lebenden Schildkröten wurden von Siedlern verspeist, die erst im Jahr 1832 dort angekommen waren. Spätestens fünfzehn Jahre nach Darwins Besuch war auch das letzte Individuum dieser Art verschwunden.



AXEL MEYER
Professor für
Evolutionärsbiologie,
Konstanz

Jede Insel des Galapagos-Archipels beherbergt unterschiedliche Arten von Riesenschildkröten, die sich in der Form ihres Panzers unterscheiden. Der Vize-Gouverneur der Galapagos-Inseln erklärte Darwin, dass man allein an diesen Unterschieden erkennen könne, von welcher Insel eine Schildkröte kam. Unter anderem aus dieser Information schloss Darwin, dass die natürliche Auslese bei Arten, die getrennt auf verschiedenen Inseln leben, zu besonderen Anpassungen geführt haben muss.

Mit genetischen Methoden konnte inzwischen nachgewiesen werden, dass die meisten dieser Schildkröten-Arten tatsächlich auf ihren Inseln eine unabhängige Evolution durchgemacht hatten. Durch moderne Genetik an alten Knochen konnte nun auch die ausgestorbene Art G. elephantopus genetisch charakterisiert werden. Sie unterscheidet sich klar von allen anderen Geochelone-Arten, berichten Forscher um Adalgisa Caccone von der Yale-Universität in der Zeitschrift „PNAS“.

Die größte Galapagos-Insel ist Isabela. Dort leben fünf Arten von Riesenschildkröten, von denen aber nur drei offensichtlich separate Linien darstellen. Die beiden anderen scheinen eher Mischformen zu sein. Wie Caccone zeigen konnte, tragen einzelne Individuen dieser beiden Arten eine genetische Variation der ausgestorbenen Art G. elephantopus. Diese Tiere sind wahrscheinlich das Ergebnis einer Kreuzung zwischen Floreana- und Isabela-Schildkröten.

Sie sind denen von Floreana genetisch weit ähnlicher als denen von Isabela. Dieser genetische Austausch könnte sogar erst vor wenigen Schildkrötengenerationen passiert sein. Theoretisch könnte also die ausgestorbene Art durch eine selektive Rückzucht von Mischindividuen genetisch wiederhergestellt werden.

wissenschaft@handelsblatt.com

Das Erbgut wird zum Baumaterial

Nanotechnologen bauen kleine Maschinen aus DNA – doch die winzigen Gebilde haben ihre Tücken

SUSANNE DONNER | DÜSSELDORF

In einer Kneipe auf dem Uni-Campus in New York kam dem Biochemiker Nadrian Seeman der entscheidende Geistesblitz. „Ich sah in der Bar einen Holzschnitt des niederländischen Grafikers Maurits Cornelis Escher, auf dem ein Fischschwarm streng geometrisch angeordnet ist“, erzählt er. „Mit einem Mal erkannte ich, dass die Tiere im Schwarm genauso angeordnet sind wie ein sechsarmig verzweigter DNA-Strang und zugleich genauso wie in einem Kristall.“ Aus DNA, der Desoxyribonukleinsäure, müsste man also Kristalle und geometrische Strukturen bauen können, folgerte er.

Seit diesem genialen Einfall sind knapp dreißig Jahre vergangen. Heute hängt Eschers Holzschnitt in Seemans Büro an der New York University, und ihn selbst feiert man als Begründer der DNA-Nanotechnologie. Mittlerweile haben Forscher Pyramiden, Würfel und Kugeln aus dem Baustoff des Lebens gebastelt. Vor kurzem gelang es Seeman, ein dreidimensionales DNA-Kristallgitter herzustellen – ein filigranes Gebilde mit einem Durchmesser von nur einem Hundertstel eines Menschenhaars.

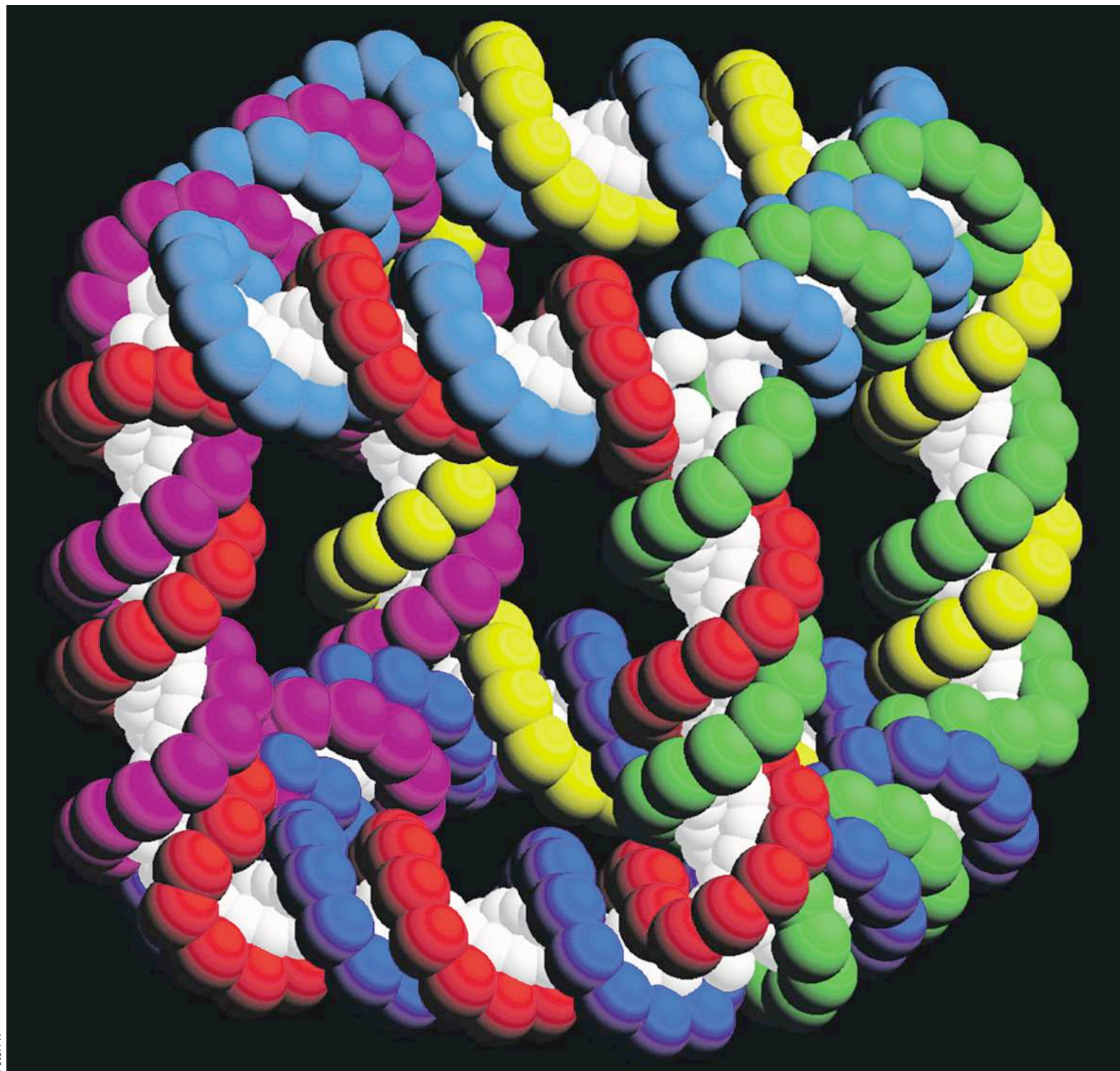
Seit einigen Jahren kommt auch Bewegung in die Konstrukte. Pinzetten aus dem Genmaterial öffnen und schließen sich. Greifer schnappen nach Molekülen und können neuerdings auch zwischen verschiedenen Sorten wählen. Jüngst stellte der Biophysiker Hermann Gaub von der Ludwig-Maximilians-Universität München einen DNA-Kran vor, der Farbstoffmoleküle anhebt und andernorts absetzt.

Aus dem DNA-Maschinenpark sticht auch Seemans Verschlüsselungsmaschine hervor. Sie verwandelt DNA-Stränge in komplett neue, andersartige DNA-Moleküle, die nichts mehr mit dem Ausgangsstoff zu tun haben. „Das ist mit das Anspruchsvollste, was bisher gemacht wurde“, meint Christof Niemeyer, Chemiker und ebenfalls DNA-Nanotechnologe an der Technischen Universität Dortmund.

Der Stoff, aus dem unser Erbgut besteht, ist eines der beliebtesten Baumaterialien für die Ingenieure der Nanowelt. Seine Funktion als Träger von Erbinformation spielt dabei keine Rolle. Entscheidend ist, dass jeder einzelne DNA-Strang sich auf charakteristische Weise mit einem zweiten, passenden Strang paart. Im Fachjargon nennt man das einen „Doppelstrang“ aus zwei komplementären Einzelsträngen.

Beweglich werden die DNA-Gebilde durch Zugabe kleiner DNA-Fragmente, die an passende DNA-Abschnitte binden. Sie können sich an einen Einzelstrang heften, aber auch zwei Stränge quer vernetzen. Sie können auch bestehende Doppelstränge auflösen, indem sie einen der beiden Stränge von seinem Platz verdrängen.

Mit diesen Prinzipien entwickeln Nanobiotechnologen unter anderem molekulare Motoren – eines ihrer wichtigsten Ziele. Nadrian Seeman präsentierte gemeinsam mit William Sherman als Erster einen Prototyp. Ihr Nanoroboter spaziert auf zwei Beinen von je zehn Nanometer



Nano-Würfel: Das Gebilde aus sechs verschiedenen DNA-Strängen (in dieser Illustration bunt eingefärbt) organisiert sich selbst zu einer Würfelform

Länge. Beide Beine enden mit zwei „Füßen“ aus Einzelstrang-DNA. Diese Einzelstrang-Fußsohlen heften sich an einen Gehweg aus teils komplementärer Einzelstrang-DNA.

Um den Roboter in Bewegung zu setzen, gab Seeman kleine DNA-Abschnitte zu, die die Fußsohle vom Gehweg lösten. Nach dieser Methode konnte das kleine Gebilde einige Schritte vorwärts und rückwärts gehen. „Wir arbeiten gerade daran, diesen Roboter von alleine laufen zu lassen, ohne dass wir ihn von außen ständig mit DNA-Strängen versorgen“, lässt Seeman durchblicken.

Vorbild für den molekularen Motor ist der menschliche Muskel. Dort schieben sich Aktin- über Myosinfasern. Der Muskel verkürzt sich, der Oberarm spannt sich an. Die Analogie lässt erahnen, welche immensen Kräfte eine Heerschar von DNA-Motoren entfalten könnte.

Doch das ist Zukunftsmusik. Die Prototypen plagten noch viele Kinderkrankheiten, erklärt Friedrich Simmel, Biophysiker von der Technischen Universität München: „Alle

realisierten Modelle sind unsäglich langsam. Sie machen winzige Schritte in Zeitskalen von Stunden.“ Das Binden und Lösen zweier DNA-Moleküle ist eben ein sehr gemächlicher Vorgang.

Der Muskel nutzt wohlgermerte Proteine, keine DNA, sonst könnten Eiskunstläufer in Bruchteilen von Sekunden keine Pirouetten drehen und Boxer keinen Haken schlagen. Für die Nanotechnologen fallen Proteine

als Baustoff jedoch bislang aus, weil sie deren Verhalten noch nicht gut genug kontrollieren können.

Trotz der Schwierigkeiten stellen die Forscher bereits erste Anwendungen der beweglichen DNA-Gebilde in Aussicht, zum Beispiel als Sensoren in der Medizin. Bewegliche DNA-Arme könnten Proteine aus dem Blut nehmen. Wird dann die Verbindung zwischen Protein und DNA-Arm mit einem kleinen DNA-Stück

gelöst, ist der Sensor sofort wieder einsatzbereit. So könnten Detektoren mit beweglichen DNA-Armen Krebs oder Infektionen anhand typischer Eiweißstoffe erkennen. „Noch gibt es solche Systeme nicht, aber wir arbeiten daran“, meint Niemeyer.

Doch es gibt auch Zweifel, ob die mobile DNA der Nanotech-Branche tatsächlich Innovationen beschert wird. Friedrich Simmel hat sich von der Idee weitgehend verabschiedet: „Moleküle tun oft nicht das, was man möchte. Störstoffe und falsche Temperaturen führen dazu, dass sich die DNA anders verhält als vorhergesagt“, sagt er. „Ich bin selbst mit einer naiven Vorstellung darangekommen. Aber die Biologie ist eben viel komplizierter als die Physik oder die Ingenieurwissenschaften.“ Nun erforscht Simmel die bewegliche DNA dort, wo sie sich seit Jahrtausenden bewährt hat – in lebenden Zellen.

Nadrian Seeman fechten solche Einwände nicht an, eher kitzeln sie den Visionär aus ihm heraus: Sein Ziel ist eine Nanofabrik mit Förderbändern, an denen Roboter werkeln und ein Produkt das Fließband verlässt. „Wie in einer Automobilfabrik“, sagt er. „Es klingt ein bisschen naiv. Aber es ist meine Vision.“

forward
Text weiterleiten: Mail an forward@handelsblatt.com Betreff: **DNA-Nanotechnologie** (Leerzeichen) **13** (Leerzeichen) **Mail-adresse des Empfängers**

DNA – der ideale Baustoff

Selbstorganisation
Die DNA (Desoxyribonukleinsäure, engl. desoxyribonucleic acid), der Stoff, aus dem das Erbgut aller Lebewesen besteht, organisiert sich selbst. Die vier wichtigsten Bausteine Cytosin, Adenin, Guanin und Thymin (C, A, G und T) paaren miteinander: Cytosin paart immer mit Guanin; Adenin dagegen immer mit Thymin.

Festgelegte Partner
Aus dieser festgelegten Partnerwahl ergibt sich, dass zu jedem DNA-Strang nur ein Partnerstrang passt. Wenn sich zwei DNA-Stränge durch Bildung der Basen-Paare zusammenschließen, bilden sie eine Art verdrehte Leiter: die berühmte Doppelhelix. Sie bildet sich aus zwei zueinander passenden DNA-Strängen.

Fest und flexibel
Doch nicht nur ihre Fähigkeit zur Selbstorganisation macht die DNA zu einem vielversprechenden Baustoff, sondern auch ihre mechanischen Eigenschaften. Während jeder einzelne DNA-Strang sehr biegsam ist, sind Doppelstränge starr. Die DNA kann also Stahlträger und Seil zugleich sein, je nachdem, in welchem Zustand sie ist.

UNSERE THEMEN

MO ÖKONOMIE

DI ESSAY

MI GEISTESWISSENSCHAFTEN

DO NATURWISSENSCHAFTEN

FR LITERATUR

Tiefgekühlte Mäuse geklont

DÜSSELDORF. Japanische Forscher haben Mäuse geklont, die bis zu 16 Jahre lang tiefgekühlt worden waren. Einer der Mäuseklone habe sogar gesunde Nachkommen gezeugt, berichten die Wissenschaftler um Teruhiko Wakayama vom Forschungszentrum Riken in Kobe in den „Proceedings“ der US-Akademie der Wissenschaften (PNAS).

Bisher war man davon ausgegangen, dass zum Klonen zwei intakte Zellen notwendig seien: eine, die den Zellkern mitsamt der darin enthaltenen DNA liefert, und eine, in die man dieses fremde Erbgut anstatt ihres eigenen Zellkerns pflanzen kann. Doch die Spenderzellen, aus denen Wakayama und seine Kollegen den Zellkern entnahmen, waren alles andere als intakt – sie stammten von Mäusen, die zum Teil mehr als 16 Jahre in einem Tiefkühlschrank gelegen hatten.

Nach gängiger wissenschaftlicher Meinung werden tiefgekühlte Zellen durch die entstehenden Eiskristalle stark beschädigt, und das Erbgut wird zerstört. Doch die geklonten Tiefkühl-Mäuse beweisen das Gegenteil. Nun hoffen die Forscher, mit ihrer Methode eine Möglichkeit gefunden zu haben, ausgestorbene Tiere wieder auferstehen zu lassen – etwa Mammuts, deren Überreste im sibirischen Permafrostboden konserviert wurden.

Doch selbst wenn es gelänge, aus den gefrorenen Kadavern genetisches Material zu isolieren, stünde man vor weiteren Schwierigkeiten: „Im Augenblick ist der Mangel an passenden Arten für Spender-Eizellen und Leihmütter das größte Problem“, erklären Wakayama und seine Kollegen. Mammuts sind schließlich ausgestorben und stehen als Leihmütter für geklonte Mammut-Embryonen nicht mehr zur Verfügung. Dafür müssten Vertreter anderer Arten herhalten.

Auch bei fortschrittsgläubigen Haustierbesitzern könnten die geklonten Mäuse auf Interesse stoßen: Manch einer hat in den vergangenen Jahren Zellen seines Haustiers einfrieren lassen, damit es nach seinem Tod geklont werden kann. Zu einiger Berühmtheit gelangte damit der amerikanische Multimillionär John Sperling, der seinen Hund „Missy“ klonen lassen wollte und texanische Wissenschaftler für dieses Vorhaben engagierte.

Diese Forscher klonen im Jahr 2001 die erste Katze. Doch „Copycat“ sah ihrem Klon-Zwilling nicht besonders ähnlich – und Sperling drehte ihren Erschaffern den Geldhahn zu. Inzwischen ist klar, dass die Gene nur das „Grundgerüst“ eines Lebewesens bestimmen. Den Rest regeln die Umwelt und der Zufall. tiw

Die Chefredaktion und Programmgeschäftsführung von **HANDELSBLATT** und **PHOENIX** laden ein zum **FORUM Wirtschaft**

Klimaschutz, Energiemärkte, Finanzkrise – Wie geht es weiter?

Über die Zukunft der Energieversorgung und die Chancen der Einhaltung von Klimaschutzziele in Zeiten der Finanzkrise diskutieren:



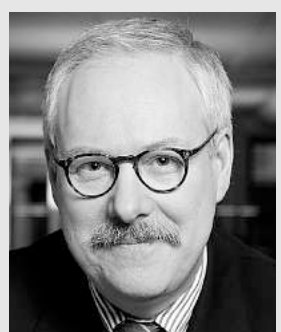
Michael Glos
Bundeswirtschaftsminister



Lars G. Josefsson
Vattenfall AB



Claudia Kemfert
DIW-Berlin



Bernd Ziesemer
Handelsblatt

FORUM Wirtschaft
Donnerstag, 20. November 2008,
19.00 Uhr
Atrium der Dresdner Bank AG,
Frankfurt am Main

Veranstaltungskonzeption und Anmeldung:

Eine Veranstaltung von:

In Zusammenarbeit mit:

VERANSTALTUNGSFORUM
DER VERLAGSGRUPPE
GEORG VON HOLTZBRINCK
GMBH

Die Teilnahme ist nur nach vorheriger Anmeldung beim Veranstaltungsforum der Verlagsgruppe Georg von Holtzbrinck unter 030/27 87 18-17 oder forumwirtschaft@vf-holtzbrinck.de möglich.

Handelsblatt



Übertragung der Veranstaltung am
23. November 2008 um 13.00 Uhr und
am 30. November 2008 um 22.30 Uhr.

