

QUANTENSPRUNG

Maultiere sind keine dummen Esel

Seit Jahrtausenden schon werden Maultiere aus Eselhengsten und Pferdestuten gezüchtet. (Bei Maultieren ist der Vater ein Pferd und die Mutter ein Esel.) Als Hybriden zweier Arten teilen sie das Schicksal vieler Bastarde: Sie sind steril und damit evolutionäre Sackgassen.

Bei Maultieren ist das der Fall, weil Esel und Pferde unterschiedlich viele Chromosomen haben. Bei der Verschmelzung von Ei- und Samenzelle bekommt der Maultier-Embryo deshalb eine ungerade Anzahl von Chromosomen ab und kann später keine befruchtungsfähigen Ei- oder Samenzellen bilden.

Off sind Hybride ihren beiden Elternarten auch in vielen anderen Merkmalen unterlegen. Das wird gern als Mechanismus interpretiert, der verhindert, dass Individuen



AXEL MEYER

Professor für Evolutionsbiologie, Konstanz

den verschiedenen Arten sich fortpflanzen – denn sie würden damit ihre Geschlechtszellen vergeuden und möglicherweise auch Energie verschwenden für die Aufzucht wenig „hoffnungsvoller“ Sprösslinge. Aber Hybride sind nicht immer schlechter als ihre Eltern.

Maultiere etwa scheinen Vorteile gegenüber Eseln und Pferden zu bieten, denn sonst hätten die Menschen sie wohl nicht ständig mühsam neu erzeugt. Maultiere sind bekanntlich große, starke und ausdauernde Lastenträger, was der Hauptgrund für diese Mühen ist.

Nun haben Forscher der Universitäten von Sussex und Canterbury herausgefunden, dass Maultiere auch intelligenter sind als Esel und Pferde. Dafür wurden Pferde, Esel und Maultiere je zwei mit verschiedenen Mustern bemalte Eimer präsentiert, von denen nur einer Futter enthielt. Nur bei richtiger Eimerwahl gab es eine Belohnung. Die Maultiere lernten nicht nur mehr Muster, sondern sie lernten auch schneller und hatten ein besseres Gedächtnis.

Warum einige Hybride anscheinend besser sind, wie beispielsweise die Maultiere, die meisten anderen aber eher weniger perfekt als ihre beiden Elternarten, ist wissenschaftlich oft unklar und schwer vorherzusagen. Hybride sind meist ein Mittelweg zwischen beiden Elternarten und damit weniger gut angepasst an bestimmte Anforderungen – was ja eigentlich nur von Nachteil sein kann.

Auch nimmt man an, dass bestimmte Genvarianten besser zusammenarbeiten als andere, was sich innerhalb einer Art über viele Generationen der natürlichen Selektion bewährt hat. Bei Hybriden würden solche Genvarianten dann willkürlich durcheinandergewirfelt. Präzise vorherzusagen lassen sich Kreuzungsergebnisse fast nie, denn die genetischen Grundlagen der meisten Eigenschaften sind immer noch völlig unklar und oft auch von vielen Genen mit unterschiedlich starken Effekten und Interaktionen bestimmt.

wissenschaft@handelsblatt.com

Stahl aus dem Rechner

Dank Materialforschung am Computer lassen sich heute maßgeschneiderte Werkstoffe ohne aufwendige Versuche herstellen

CHRIS LÖWER | DÜSSELDORF

Der Anblick befremdet ein wenig: Wie Gummi lässt sich das Stahlband um ein Zehnfaches dehnen. Es scheint butterweich – und ist doch so stabil wie klassischer Stahl. Der wundersame Werkstoff soll bald im Automobilbau eingesetzt werden und wurde am Max-Planck-Institut für Eisenforschung in Düsseldorf entwickelt.

Für derartige Innovationen kann man etliche Jahre im Labor verbringen oder mit ein paar Mausklicks am Computer vergleichsweise zügig verschiedene Varianten für den perfekten Stahl durchspielen. So halten es die Düsseldorfer Materialwissenschaftler rund um Jörg Neugebauer, Institutsdirektor und Leiter der Abteilung CMS. Das steht für „Computational Materials Science“. Und das wiederum könnte die Zukunft der Werkstoffwissenschaft sein.

Denn durch die Simulation am Rechner können die Forscher rasch und kostengünstig maßgeschneiderte Materialien entwickeln. Hochleistungsrechner machen es möglich, die gewünschten Eigenschaften der Werkstoffe zunächst auf atomarer Ebene zu beschreiben und sie dann zusammenzubasteln.

„Das ist in der Materialforschung ein völlig neuer Ansatz, gewissermaßen ein Design auf dem Reißbrett“, sagt Neugebauer. In Düsseldorf werden so unter anderem für das Auto der Zukunft angepasste Multiphasenstähle entwickelt, die, je nachdem wo sie verbaut werden, für mehr Unfallsicherheit sorgen sollen.

Auch der Flugzeugbauer Airbus will mit CMS schneller zu maßgeschneiderten High-Tech-Bauteilen kommen und kooperiert mit Wissenschaftlern des „Center for Computational Material Science“ der Uni Bremen (BCCMS). „Durch die Methode kann man die Wechselwirkung von Atomen und Molekülen in technischen und lebenden Materialien besser verstehen, so dass sich die Vorzüge verschiedener Stoffe besser miteinander verbinden lassen“, erklärt Thomas Frauenheim, Leiter des BCCMS.

Etwas Handarbeit ist dafür allerdings auch notwendig: Frauenheim und sein Team ziehen per Maus Molekül für Molekül über den Bildschirm, um eine enzymbesetzte Biokeramik zu entwickeln, die als antibakterieller Wasserfilter dienen soll. Ein Geduldsspiel. Doch auf diese Weise lassen sich komplexe Verbindungen und deren Eigenschaften in nie gekannter Fülle durchspielen.

Jörg Neugebauer vom MPI spricht von einem Paradigmenwechsel. Denn nun steht am Anfang einer Entwicklungsaufgabe die Frage, was der Werkstoff in welcher Situation leis-



Keine abstrakte Kunst, sondern Hartstahl mit hohem Kohlenstoffanteil unterm Mikroskop.

ten soll, etwa bei extremer Kälte bruchsfähiger zu bleiben, so dass Stahlträger genau auf dieses Ziel hin konzipiert werden.

Bisher konnte man nur testen und simulieren, ab wann ein Stahlträger bricht – nun weiß man genau, warum das passiert, weil am Rechner Kristallstrukturen und Grenzflächen auf atomarer Ebene exakt dargestellt werden können. Neugebauer: „Von diesem Punkt aus lässt sich nach den Gesetzen der Quantenmechanik nachbilden, wie sich etwa neue Bestandteile oder chemische Elemente auf die mechanische Festigkeit einer Legierung auswirken.“

Wer dagegen erst mühsam Legierungen herstellen und testen muss, überlegt genau, ob er ein Experiment wagt oder nicht. Vor allem aber wird er sehr lange brauchen, bis das gewünschte Material allen Anforderungen entspricht.

„Dieses gezielte Forschen am Computer ist alles andere als die gängige Trial-and-Error-Methode. CMS wird die Art, neue Werkstoffe zu ent-

wickeln, revolutionieren“, sagt Frauenheim. Er erwartet Innovationssprünge in diversen Branchen, vor allem in der Elektronikindustrie, der Kommunikations- und Messtechnik, der Solarenergie und Photovoltaik, im Maschinenbau, in den Biotechnologien und der Medizintechnik.

Gerade wenn es um körperverträgliche Implantate geht, kann die Methode ihre Vorteile ausspielen. Bereits jetzt werden per CMS entwickelte Magnesiumschrauben bei Knochenbrüchen eingesetzt, die sich auflösen, wenn die Knochen wieder zusammengewachsen sind. Und Hüftgelenke sollen durch die Technik knochenähnlichere Eigenschaften bekommen, damit sie geschmeidiger auf Stöße und Dehnungen reagieren.

Egal auf welchem Gebiet CMS eingesetzt wird – gefordert ist ein interdisziplinäres Team aus Physikern, Chemikern, Technomathematikern, Werkstoff-, Elektro- und Produktionstechnikern. Ursprünglich hat sich diese Disziplin aus der Biophysik entwickelt. Weil aber in der Mate-

rialforschung Simulationen deutlich komplexer sind, waren die Methoden lange nicht übertragbar. Erst neue Rechenmethoden, Hochleistungscomputer und ein besseres Verständnis der Vorgänge auf atomarer Ebene machten den Sprung auf dieses Gebiet möglich.

Da das Potenzial lange noch nicht ausgeschöpft und die Vernetzung der Disziplinen nicht selbstverständlich ist, hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) eine Nachwuchsakademie zum Thema gestartet. „CMS ist ein sich erst entwickelndes Feld mit großem Potenzial“, sagt Burkhard Jähne, Experte für Werkstoffwissenschaft bei der DFG. „Es handelt sich um eines der Gebiete, auf dem Deutschland mit weltweit führenden Forschern noch einen Vorsprung hat.“ Den gelte es auszubauen, allein schon, indem die vielen verschiedenen Ansätze zusammengeführt würden.

Um die Forschungslandschaft in Schwung zu bringen, startet zum kommenden Wintersemester an der

Uni Bremen der viersemestrige Masterstudiengang „Computational Materials Science (CMS)“, für den man sich noch bis Mitte September bewerben kann. Seit Jahresbeginn werden Experten für maßgeschneiderte Materialien auch an der Ruhr-Universität Bochum ausgebildet. Dort entstand das „Interdisciplinary Centre for Advanced Materials Simulations“ (ICAMS) mit drei Stiftungslehrstühlen, die unter anderem von Thyssen-Krupp, Salzgitter, Bosch und Bayer finanziert werden. „Bislang ist CMS eine Domäne von Forschungsinstituten, aber das Engagement der Industrie in Bochum zeigt ihr Interesse“, sagt MPI-Forscher Neugebauer. Er sieht mit CMS eine neue Schlüsseltechnologie am Horizont.

Bei aller Euphorie gilt allerdings: Das letzte Wort hat immer noch der Experimentator. Er muss sich zwar nicht mehr durch endlose Versuchsreihen quälen, aber die entscheidenden Tests für neue Materialien werden auch künftig im Labor stattfinden – und nicht am Monitor.

Wracks gefährden Korallenriffe

An Schiffen und Bojen finden ortsfremde Arten einen Lebensraum, von dem aus sie sich rasant verbreiten können

DÜSSELDORF. Gesunkene Schiffe sind eine Bedrohung für Korallenriffe, weil an ihnen fremde Arten siedeln und die Riffe überwuchern. Zu diesem Schluss kommen Forscher im Online-Magazin „PLOS one“.

Die Wissenschaftler um Thierry Work vom Geologischen Dienst der USA hatten das Palmyra-Atoll untersucht, das etwa 1800 Kilometer südwestlich von Hawaii im Pazifik liegt. Dort war 1991 ein dreißig Meter lan-

ges Schiff gesunken. Als die Forscher das Riff im Jahr 2004 zum ersten Mal untersuchten, fanden sie dort einen Verwandten der Korallen und Seeanemonen namens Rhodactis howesii. Die Tiere siedelten damals in geringer Zahl rund um das Wrack.

In den Jahren darauf jedoch breitete sich Rhodactis howesii geradezu explosionsartig aus. Erst mit zunehmendem Abstand zum Wrack und zu den umliegenden Bojen nahm die

Zahl der Tiere ab. In anderen Regionen des Atolls war Rhodactis howesii selten oder gar nicht anzutreffen.

„Warum dieses Phänomen auftritt, bleibt rätselhaft“, sagt Work. Möglicherweise spiele austretendes Eisen vom Rumpf des Schiffes und von den Ketten der verankerten Bojen eine Rolle, zusammen mit anderen Umweltfaktoren, die am Palmyra-Atoll auftreten. Laut Work nimmt der Befall des Riffs mit Rhodactis howesii inzwischen katastrophale Züge an.

„Angesichts der Fähigkeit des Tiers, sich schnell zu vermehren und das ganze Riff zu bedecken, muss man nun damit rechnen, dass selbst bei einer Bergung des Wracks die reproduktive Kapazität von R. howesii ausreichen könnte, damit es sich weiter ausbreitet“, erklärt der Forscher. Ob auch andere Atolle mit solchen Invasionen zu kämpfen haben,

haben die Forscher nicht untersucht. Doch die Riffe in den Weltmeeren haben noch mit ganz anderen Problemen zu kämpfen: Sie werden infolge der Umweltverschmutzung von Algen überwachsen oder bleichen aus, oder sie werden durch Tropenstürme zerstört. Auch die zunehmende Bebauung der Küsten und die Überfischung der Meere werden für die Korallenriffe immer mehr zum Problem.

„Die meisten Mäuse mögen kein Kalzium, aber wir fanden einen Stamm, der es geradezu begierig trank“, sagt Tordoff. „Wir haben die Gene dieser Mäuse mit denen anderer Mäuse verglichen und zwei Kalzium-Geschmacks-Gene gefunden.“

Diese Gene sind die Baupläne für zwei längst bekannte Moleküle. Das eine, CaSR, ist ein Kalziumrezeptor – also ein Erkennungsmolekül für Kalzium –, den man etwa in den Nieren, im Gehirn oder im Verdauungstrakt gefunden hatte. Von der Existenz des Rezeptors auf der Zunge wusste man dagegen bisher nichts.

Der andere Rezeptor wiederum ist bekannt als Teil eines größeren Erkennungs-komplexes auf der Zunge – für den süßen Geschmack. Das sei eine

„sehr unerwartete“ Entdeckung, sagen die Forscher. Ob der Fund des Kalzium-Geschmacks auf den Menschen übertragbar ist, ist allerdings nicht klar. „Wir wissen nicht, ob wir dieselben Formen der Gene haben wie die Mäuse, es scheint aber sehr wahrscheinlich, dass sie dieselbe Funktion haben“, so Tordoff.

Kalzium ist besonders für den Knochenaufbau wichtig. Die Fähigkeit, das Mineral zu schmecken, wäre also ziemlich sinnvoll, auch für Menschen. Doch wie schmeckt Kalzium denn nun? „Kalziumig“, sagt Tordoff. „Es gibt kein besseres Wort dafür. Es ist bitter, vielleicht ein bisschen sauer. Aber auch noch viel mehr, denn es gibt ja tatsächlich eigene Rezeptoren dafür.“

Gene können lebensmüde machen

Freitode kommen in manchen Familien besonders häufig vor, denn die Veranlagung dazu ist erblich

DESIREE THERRE | DÜSSELDORF

Der Schriftsteller Ernest Hemingway nahm sich 1961 das Leben – wie 1928 sein Vater, 1966 seine Schwester, 1982 sein jüngerer Bruder und 1996 seine Enkelin. Journalisten sprachen schon von einem „Hemingway-Fluch“.

Dass die Veranlagung zum Freitod tatsächlich zu einem gewissen Grad vererbbar wird, berichtet jetzt die Zeitschrift „Gehirn & Geist“. Ross Baldessarini und John Hennen von der Harvard-Universität belegten das auf der Basis von 20 Einzelstudien schon 2004. Wissenschaftler um den Psychiater Dan Rajkovic von der Uniklinik München konnten den Befund bestätigen: Vor allem Selbstmörder wiesen – genetisch bedingt – eine geringe Konzentration des Botenstoff-

fes Serotonin im Frontallappen der Großhirnrinde auf. Als Kontrollzentrum für Handlungen kann dort eine Unterversorgung mit Serotonin zu aggressivem und impulsivem Verhalten führen – und letztendlich dazu, den Gedanken an den Freitod in die Tat umzusetzen.

Die Unterversorgung mit Serotonin kann verschiedene genetische Ursachen haben. Zum Beispiel bewirkt eine bestimmte Variante des „Serotonin-Transporter-Gens“ eine gestörte Serotoninversorgung: Normalerweise wird dieser Botenstoff nach der Ausschüttung zurück zur Ursprungsnervenzelle transportiert. Ist dieser Mechanismus gestört, fehlt das Serotonin bei einer erneuten Ausschüttung. Aber nicht nur ein Mangel an Serotonin, sondern auch die Unter-

versorgung mit dem Botenstoff Dopamin kann zu besonders aggressivem Verhalten, Schizophrenie und Suizidneigung führen.

Auch Zwillingsstudien des Psychologen Qiang Fu von der Washington-Universität in St. Louis belegen, dass Gene lebensmüde machen können: Eineiige Zwillinge waren sich in ihrem Verhältnis zum Freitod, sowohl was den Gedanken daran als auch die Ausführung angeht, deutlich ähnlicher als zweieiige.

Die Veranlagung zum Selbstmord wird allerdings nicht nur von der DNA-Sequenz bestimmt. Bei gleichem Erbgut können auch äußere Einflüsse und Erlebnisse eine unterschiedliche Genregulation bewirken. Forscher um den kanadischen Psychiater und Neurowissenschaftler Gustavo Turecki fanden bei Untersuchungen an 18 Gehirnen von Selbst-

mördern heraus, dass bei den Verstorbenen die Enzym-synthese in bestimmten Regionen gestört war. Alle untersuchten Personen waren in ihrer Kindheit sexuell missbraucht oder vernachlässigt worden.

Diese Ergebnisse belegen zwar, dass unsere Gene das Selbstmordrisiko stark beeinflussen – wie auch andere Verhaltensweisen. Aber das kann natürlich nicht heißen, dass sich ein genetisches Selbstmord-Programm unweigerlich abspielt. Die Gene spielen nach Ansicht vieler Psychologen nur die kleinere Rolle. Familiäre Rollenvorbilder, ähnliche Lebensumstände oder die mit einem Selbstmord einhergehende Belastung der Hinterbliebenen sind Faktoren, die einen weit größeren Einfluss auf die Neigung haben, Selbstmord zu begehen.

Forscher entdecken neue Geschmacksrichtung

Mäuse haben einen Sinn für Kalzium – Menschen vielleicht auch

TINKA WOLF | DÜSSELDORF

Fünf verschiedene Geschmacksrichtungen kann der Mensch unterscheiden: süß, sauer, salzig, bitter und umami („wohlschmeckend“ oder „herzhaft“). Womöglich gibt es jedoch noch eine sechste Geschmacksrichtung: Amerikanische Forscher fanden heraus, dass Mäuse auch Kalzium schmecken können.

Ihre Ergebnisse präsentierten die Forscher um Michael Tordoff vom Monell-Zentrum für chemische Sinne in Philadelphia gestern auf einer Konferenz der American Chemical Society. Die Wissenschaftler hatten 40 verschiedene Stämme von Mäusen auf ihre Kalzium-Präferenzen hin untersucht.

„Die meisten Mäuse mögen kein Kalzium, aber wir fanden einen Stamm, der es geradezu begierig trank“, sagt Tordoff. „Wir haben die Gene dieser Mäuse mit denen anderer Mäuse verglichen und zwei Kalzium-Geschmacks-Gene gefunden.“

Diese Gene sind die Baupläne für zwei längst bekannte Moleküle. Das eine, CaSR, ist ein Kalziumrezeptor – also ein Erkennungsmolekül für Kalzium –, den man etwa in den Nieren, im Gehirn oder im Verdauungstrakt gefunden hatte. Von der Existenz des Rezeptors auf der Zunge wusste man dagegen bisher nichts.

Der andere Rezeptor wiederum ist bekannt als Teil eines größeren Erkennungs-komplexes auf der Zunge – für den süßen Geschmack. Das sei eine

UNSERE THEMEN

MO ÖKONOMIE

DI ESSAY

MI GEISTESWISSENSCHAFTEN

DO NATURWISSENSCHAFTEN

FR LITERATUR

Die hohe Mathematik des Segelsports

MICHAEL JOSWIG | DARMSTADT

In manchen Sportarten ist es nicht eindeutig, ob das Material oder der Mensch die Medaille erringt. Bei Autorennen liegt die wichtige Rolle von Technik und Innovation auf der Hand, aber auch bei olympischen Disziplinen geht es nicht ohne. Zumindest jeder Sport, bei dem ein Fahrzeug – im weitesten Sinn – in möglichst kurzer Zeit von der Start- zur Ziellinie gebracht werden soll, bietet prinzipiell die Möglichkeit, verfeinerte Ingenieurskunst mit in die Waagschale zu werfen.

Dass dies auch für die olympischen Segelregatten in Qingdao zutreffen könnte, sieht man am weltweit bekanntesten Rennen, dem America's Cup. Dessen Teilnehmer investieren nämlich jedes Mal erhebliche Summen in ihre Boote. Im derzeit gültigen AC90-Reglement sind nur wenige Daten wie Länge, Tiefgang und Verdrängung vorgegeben, so dass die Designer viel Freiraum haben. Ihnen kommt die Formoptimierung zu Hilfe, eine wissenschaftliche Disziplin an der Grenze zwischen Ingenieurwissenschaften und Mathematik. Sie hat zum Ziel, die Form eines Bauteils oder einer gesamten Konstruktion im Rahmen vorgegebener Beschränkungen und Kriterien unter Berücksichtigung der physikalischen Gesetze und Materialeigenschaften zu optimieren. Wie muss der Ballastklief geformt und müssen die Segel geschnitten sein, damit ein Schiff möglichst schnittig durch Wind und Wellen fährt?

Dabei geben winzige Vorteile den Ausschlag. In einer Dissertation an der Ecole Polytechnique Federale in Lausanne wurden für das 2003 siegreiche Alinghi-Team zum Beispiel unterschiedliche Segel berechnet, bei denen die beste Variante für einen um 0,3 Prozent verbesserten Vortrieb sorgte. Die Reibung des Rumpfes um ein Prozent zu reduzieren bedeutet je nach Windstärke 18 bis 64 Sekunden Zeitersparnis auf einer Teilstrecke von 18,55 Seemeilen vor dem Wind.

Die Designer träumen von einem Boot, das insgesamt um ein Prozent schneller ist als das beste Boot der letzten Saison. Damit haben sie eine Chance auf den Sieg. Dass die Optimierung in diesem Bereich so schwierig ist, hängt unter anderem damit zusammen, dass Strömungsphänomene mathematisch noch immer nicht ganz verstanden sind: Die hierfür wichtigen Navier-Stokes-Gleichungen vollständig zu lösen ist eines der sieben mathematischen Probleme, für deren Klärung die Clay Foundation im Jahr 2000 jeweils eine Million Dollar Preisgeld ausgelobt hat. Den Seglern in Qingdao kann das egal sein. Die olympischen Bootsklassen geben die Form ihrer Schiffe jeweils sehr genau vor. Eine olympische Goldmedaille im Segeln ist also echte Handarbeit.

Der Autor ist Mathematik-Professor an der TU Darmstadt