

## QUANTENSPRUNG

## Forscher im Hamsterrad der Bürokratie

In der Evolutionsbiologie gibt es die sogenannte „Red-Queen-Hypothese“, die aus Lewis Carroll's Kinderbuch „Alice hinter den Spiegeln“ entliehen ist. In dem Buch erklärt die rote Königin der kleinen Alice: „Du musst so schnell rennen, wie du kannst, wenn du am gleichen Fleck bleiben willst.“ Evolutionsbiologen verdeutlichen mit diesem Bild etwa den evolutionären Wettlauf zwischen den Anpassungen eines Wirts und denen seines Parasiten.

Einen ähnlichen Wettlauf liefern sich auch die Forscher an den Universitäten. Ich kenne keinen ernst zu nehmenden Wissenschaftler, der eine 40-Stunden-Woche schiebt oder sechs Wochen Urlaub im Jahr macht. Jedes Jahr lasse ich zum Beispiel etwa 90 Prozent meines Jahresurlaubs verfallen. Allein die PubMed-Datenbank zählte 700 000 neue wissenschaftliche Artikel im Jahr 2007. Zehn Jahre zuvor waren es noch „nur“ 300 000 Publikationen.

Der Wettbewerb ist ungeheuer groß, und zwar trotz zunehmend widriger bürokratischer Umstände. An meiner „Eliteuniversität“ etwa schlägt die Bürokratie gerade Blüten ungeahnten Ausmaßes. Dass es endlich mehr Geld gibt, ist ja eigentlich erfreulich – aber es kommt noch zusätzlich zu den Bachelor- und Master-Umstellungen und all den anderen Reformen und Initiativen, die sich Bürokraten wohl im-



AXEL MEYER

Professor für Evolutionsbiologie in Konstanz und Fellow am Wissenschaftskolleg zu Berlin

mer wieder ausdenken müssen, um ihre Existenz zu rechtfertigen. Mehr Geld brachte auch mehr Bürokratie – und damit weniger Zeit fürs Exzellente-Sein.

Wenn Verwalter den Job nicht mehr schaffen, dann nehmen sie Überstunden, gehen in Kur, schaffen irgendwann neue Stellen in der Bürokratie – oder wälzen bequemerweise ihre Aufgaben auf die Forscher ab, deren Arbeit sie eigentlich erleichtern sollten. So müssen wir Berge von völlig unnützen Formulare ausfüllen für „Tierschutz“, bei denen nur Fische gezüchtet werden. Jeder Aquarianer macht so etwas zu Hause. Wir müssen auch die Notduschen im Labor und die elektrische Sicherheit jeder Apparatur, ja, jeder Schreibtischlampe periodisch überprüfen. Kein Scherz! Man sollte sich einmal vorstellen, dass die Bürokraten in den Ministerien dazu angehalten würden, selber ihre Computer und Kaffeemaschinen auf elektrische Sicherheit zu überprüfen.

So also geht die Zeit der Professoren hin. Nicht fürs Lehren und Forschen, wofür wir schlecht genug bezahlt werden. Sondern für Bürokratie und Evaluation. Was kommt als Nächstes? Gripeschutzimpfungen? Zahnärztliche Prophylaxe? Kein Problem. Wissenschaftler der Welt, steht auf und lasst euch diesen Blödsinn nicht mehr gefallen! Wir haben wahrlich Wichtiges zu tun.

wissenschaft@handelsblatt.com



Wärmewandler: Dieser kleine Einsitzer fährt mit einem thermoelektrischen Generator, der Wärme in elektrische Energie verwandelt. Entwickelt wurde das Gefährt von Toshiba. Der Elektronik-Hersteller präsentierte den kleinen Flitzer mit dem Namen „Thermo Electric Generation Vehicle“ (TEGV) im Mai 2008 an der Osaka-Sangyo-Universität in Daito.

## Strom aus dem Auspuff

Mit Materialien, die aus Motorwärme elektrische Energie erzeugen, könnten Autos in Zukunft Sprit sparen

SUSANNE DONNER | DÜSSELDORF

Früher musste Eckhard Müller um jeden Euro ringen. Heute wird er mit Aufträgen überschüttet, Firmen drängen auf Ergebnisse. Müller kommt gar nicht mit dem Einstellen neuer Mitarbeiter nach. Wer kann das schon von sich behaupten in Krisenzeiten?

Müller ist Spezialist für Thermoelektrik am Institut für Werkstoffforschung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Köln und dem Gebiet seit zwanzig Jahren treu. Und das, obwohl „manche Gutachter bis vor kurzem gar nicht wussten, was ein Thermoelektrikum ist, oder an sinnvollen Anwendungen zweifeln“, wie er sagt. Heute interessiert sich besonders die Automobilindustrie für die Werkstoffe, die aus Hitze Strom erzeugen.

„Alle großen Automobilhersteller beschäftigen sich damit: Fiat, Nissan, Honda, allen voran BMW“, zählt Müller auf. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat im Sommer 2008 ein Schwerpunktprogramm zur Entwicklung nanostrukturierter Thermoelektrika angestoßen. Das Forschungsministerium wird die Wärmewandler noch in diesem Jahr im Programm „Werkstofftechnologien von morgen“ fördern. Müller rechnet mit weiteren Ausschreibungen auf europäischer Ebene.

Dass es aus dem Geldhahn seit Beginn dieses Jahres so bereitwillig sprudelt, liegt am Potenzial der Thermoelektrika: Die Werkstoffe können Hochrechnungen zufolge den Spritverbrauch eines Fahrzeugs um fünf bis sieben Prozent senken. Bislang strahlen zwei Drittel der Energie ungenutzt als Hitze ab. Diese Abwärme ließe sich mit thermoelektrischen Generatoren ernten.

## Energiewandler

## Warm gegen kalt

Thermoelektrische Generatoren wandeln Wärme in Strom um. Zentrales Bauelement sind zwei Plättchen aus halbleitenden Werkstoffen, auch Thermopaar genannt. Das Paar nimmt auf einer Seite Wärme auf. Dadurch bewegen sich die Elektronen dort rascher als am kalten Ende der Plättchen. So baut sich eine Spannung auf, die als elektrischer Strom abgegriffen werden kann. Die Ausbeute an Elektrizität ist umso höher, je größer die Temperaturdifferenz ist. 1821 entdeckte Thomas Seebeck den thermoelektrischen Effekt, der deshalb auch als Seebeck-Effekt in Physikbüchern auftaucht.

## Uhren und Motoren

Künftig könnten thermoelektrische Generatoren dazu beitragen, die Abwärme von Motoren in Strom umzuwandeln, und so die Energieeffizienz erhöhen. Besonders aussichtsreich ist das aufgrund der großen Temperaturdifferenz bei Fahrzeugen. Schon heute laufen einige Armbanduhrwerke dank thermoelektrischer Generatoren, die die Körperwärme nutzen.

Im Stadtverkehr trägt bereits die Rückgewinnung der Bremsenergie dazu bei, Sprit zu sparen. In Zukunft könnten thermoelektrische Generatoren zusätzlich die Hitze am Motor abgreifen, was sich besonders bei Überland- und Autobahnfahrten auszahlen würde. „Beide Techniken ergänzen sich perfekt. Deshalb ist Thermoelektrik eine attraktive Option“, erläutert Peter Rogl, Chemiker am Institut für Physikalische Chemie der Universität Wien.

Doch noch ist es nicht so weit. Kommerzielle Thermogeneratorsysteme verwerten nur rund ein Prozent der Wärme. Für den Einsatz im Auto müssten es mindestens drei bis vier Prozent sein, damit sich der technische Aufwand lohnt. Für den erhofften Sprung in der Energieeffizienz ist zuerst ein Durchbruch in der Materialforschung nötig: „Wir brauchen temperaturbeständige Werkstoffe, die Erschütterungen widerstehen und langfristig stabil funktionieren“, bringt Müller die Herausforderungen auf den Punkt.

Bislang sind Thermoelektrika nur in Nischen vorgedrungen. Seit vierzig Jahren versorgen sie Tuzende Raumsonden, darunter „Voyager“ und „Cassini“, mit Strom. „Die Module funktionieren teils dreißig Jahre ohne Wartung. Das geht mit keinem mechanischen System“, schwärmt Harald Böttner, Physiker am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik in Freiburg.

Die Thermogeneratoren der Nasa bestehen aus Bleitellurid, einem Mischkristall aus dem Halbmetall Tellur und Blei. Müller rechnet fest damit, dass diese Substanz als Erstes irdische Anwendungen erobern wird, weil sie am besten erforscht ist. Trotzdem werden die Bleitelluride schon nach einigen Jahren wieder abgelöst werden, glaubt Müller –

weil die Vorräte an Tellur nicht reichen, um Fahrzeuge massenhaft damit auszurüsten. „An diesem Material wird man lernen“, sagt er. „Dann wird es verdrängt werden.“

Gegenwärtig werden noch etwa zehn weitere Werkstoffklassen erforscht. Müller malt sich aus, dass sogenannte Skutterudite, an denen er selbst forscht, das Rennen machen. Sie sind relativ günstig herzustellen und könnten die ökonomischen Zwänge der Industrie erfüllen: Mehr als 300 Euro darf ein Wärmewandler im Wagen nicht kosten.

## Methode von Versuch und Irrtum

Skutterudite bestehen überwiegend aus den Elementen Kobalt und Antimon. Um ihre Effizienz zu erhöhen, ersetzt Müllers Team das Kobalt in den Kristallen sukzessive durch andere Elemente wie Nickel und Eisen. Die Herstellung ist denkbar einfach: Die Rohstoffe werden fein gemahlen, im gewünschten Verhältnis vermischt und dann heiß verpresst. Entscheidend sind die Eigenschaften des neuen Materials: Es soll die Wärme schlecht ableiten und damit den Temperaturunterschied zwischen Motor und Umgebungsluft möglichst gut halten. Denn je größer diese Differenz ist, desto mehr Strom wird gewonnen.

Was einfach klingt, macht Chemikern und Physikern viel Arbeit. Thermoelektrische Materialien werden über Versuch und Irrtum geboren. So pressen Müllers Mitarbeiter tagaus, tagein verschiedene Mischkristalle, fügen dort etwas Nickel hinzu, nehmen da etwas Zink weg. Sie wollen eine möglichst unregelmäßige Kristallstruktur erzeugen. In einem ungeordneten Gitter wird nämlich die Wärme schlechter übertragen, weil sie sich in den Gitterschwingungen verhält. „Das ist wie ein Wald, in

dem ein Ruf umso eher verhallt, je ungeordneter die Bäume stehen“, veranschaulicht Müller.

Seit Anfang des Jahrtausends bedienen sich die Forscher auch der Nanotechnologie, um die Materialien zu verbessern. Als das bislang beste Thermoelektrikum erwies sich eine „Nano-Lasagne“, entwickelt von Rama Venkatasubramanian vom amerikanischen Research Triangle Institute. Der Physiker stapelte feinste Schichten von Bismut- und Antimontelluriden aufeinander. Zwischen den Schichten bilden sich sogenannte Korngrenzen, die den Wärmetransport hemmen, den Strom jedoch ungehindert passieren lassen.

„Das ist beeindruckend, aber für die Produktion im Tonnenmaßstab viel zu kompliziert“, meint Böttner. „Wir suchen derzeit nach einer Verallgemeinerung des Nanoprinzips.“ In seinem Institut werden beispielsweise einfache Nanokügelchen in die Metallmasse des Thermoelektrikums eingeschlossen. Doch bislang ist der Rekordwert von Venkatasubramanian unerreichbar.

Dass die Anforderungen dennoch überwindbar sind, demonstrierte BMW im Oktober vergangenen Jahres auf der ersten Thermoelektrik-Tagung der Ingenieurgesellschaft Auto und Verkehr – mit einem 535i-Testwagen, der mit einem Modul aus Bismut-tellurid am Auspuff 15 000 Kilometer zurückgelegt hat. 200 Watt liefert der Wärmewandler für Radio und Fensterheber. Die Grundlast eines Mittelklassewagens liegt etwa doppelt so hoch. BMW kündigte auf der Konferenz an, eine Marke von 700 Watt erreichen zu wollen. Am Ende waren sich alle Teilnehmer zumindest darin einig, dass der Tagungstitel „Thermoelektrik – eine Chance für die Automobilindustrie?“ um das Fragezeichen bereinigt werden muss.

## Esa schickt zwei Teleskope in den Weltraum

DÜSSELDORF. Die Europäer schmieden große Pläne: Während die amerikanische Nasa noch damit beschäftigt ist, das alternde Weltraumteleskop Hubble zu reparieren, will die europäische Weltraumbehörde Esa heute das größte je gebaute Weltraumteleskop ins All schießen.

Eine Ariane-5-Rakete wird Herschel und ein zweites Teleskop namens Planck um 15.12 Uhr (MESZ) vom südamerikanischen Weltraumbahnhof Kourou aus ins All bringen. Das Satelliten-Duo soll weit in die Vergangenheit des Universums blicken und Informationen über die Zeit kurz nach dem Urknall liefern.

Die beiden Teleskope gehören zu den ehrgeizigsten Weltraummissionen, die Europa je auf den Weg gebracht habe, lässt die Esa verlauten. Sie würden die bisherigen Grenzen der Weltraumastronomie verschieben. Albrecht Poglitsch vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching, der an der Entwicklung von Herschel beteiligt war, erklärt diese Grenzen in einem Interview mit der Presseagentur DPA: „Die bisherigen Fern-Infrarot-Teleskope waren von der Auflösung nicht besser als das bloße Auge im sichtbaren Licht. Mit Herschel erweitern wir das jetzt immerhin zu einer Auflösung, wie wir sie mit einem Feldstecher im sichtbaren Bereich haben.“

Für diesen scheinbar kleinen Schritt mussten die Forscher ein Teleskop konstruieren, dessen Hauptspiegel mit 3,5 Metern fast einhundertmal so groß ist wie der von Hubble. Damit soll Herschel zum Beispiel die Geburt von Sternen und Galaxien sehen, die bereits vor zehn Milliarden Jahren entstanden und die so weit von der Erde weg sind, dass ihr Licht erst jetzt bei uns eintrifft.

Weil das Teleskop nicht das für uns sichtbare Licht erkennt, sondern auf Infrarotstrahlen spezialisiert ist – die wir als Wärme empfinden –, kann es laut Esa einige der kältesten Objekte im Weltraum untersuchen. Dieser Teil des elektromagnetischen Spektrums bis bisher kaum erforscht worden. Dafür muss das Gerät allerdings selbst immer gut gekühlt bleiben – auf 0,3 Grad über dem absoluten Nullpunkt, also auf minus 272,85 Grad Celsius. Dafür hat Herschel etwa 2 300 Liter Helium an Bord.

Noch kälter geht es im Inneren von Planck zu. Das Teleskop soll die aus der Frühzeit des Universums stammende kosmische Hintergrundstrahlung erforschen, die als das „Echo des Urknalls“ bezeichnet wird. Diese Mikrowellenstrahlen enthalten viele Informationen über die Frühphase des Universums, ermöglichen aber auch Rückschlüsse auf die Entwicklung und Verteilung der Materie. Damit Planck auch noch die letzten Reste dieser Strahlung erfassen kann, werden seine Detektoren auf 0,1 Grad über dem absoluten Nullpunkt abgekühlt. Sie seien dann der kälteste Punkt im Universum, erklärt die Esa.

„Planck wird die genauesten Daten über das frühe Universum liefern, die es je gab. So nahe waren wir dem Urknall noch nie“, erklärt Rashid Sunyaev, Direktor am Max-Planck-Institut für Astrophysik in Garching. Sunyaevs Kollege Simon White ergänzt: „Der Satellit ist das mächtigste Instrument für die Untersuchung des kosmischen Mikrowellenhintergrunds, das bis heute entwickelt wurde.“

Damit Herschel und Planck ihre Temperatur halten können, werden sie sozusagen hinter der Erde, auf der sonnenabgewandten Seite, in Position gebracht. Das Ziel der beiden Satelliten liegt in 1,5 Millionen Kilometer Entfernung von der Erde, im sogenannten Lagrange-Punkt L2. Dort herrscht ein Gleichgewicht zwischen den Gravitationskräften von Sonne und Erde, so dass Herschel und Planck an diesem Punkt scheinbar verharren werden.

So alt wie Hubble, das bereits seit 19 Jahren seinen Dienst tut, werden Herschel und Planck allerdings kaum werden. Geplant sind 3,5 Jahre Betriebsdauer für Herschel und nur 1,5 Jahre für Planck – eben so lange, wie der Vorrat an Helium reicht, um die Detektoren der Teleskope zu kühlen. *tiw/dpa/AFP*

## UNSERE THEMEN

MO ÖKONOMIE

DI ESSAY

MI GEISTESWISSENSCHAFTEN

DO NATURWISSENSCHAFTEN

FR LITERATUR

## Das älteste Pin-up der Welt stammt aus Schwaben

Tübinger Archäologen präsentieren eine mindestens 35 000 Jahre alte Elfenbein-Figur mit grotesk überzeichneten weiblichen Geschlechtsmerkmalen

FERDINAND KNAUSS | DÜSSELDORF

Die älteste Darstellung eines Menschen und eines der ältesten figürlichen Kunstwerke der Menschheitsgeschichte haben Archäologen um Nicholas Conard von der Universität Tübingen in einer Höhle auf der Schwäbischen Alb gefunden. In einem Beitrag für die Zeitschrift „Nature“ datieren sie die aus Mammut-Elfenbein geschnitzte Frauenfigur auf mindestens 35 000 Jahre, möglicherweise sogar bis zu 40 000 Jahre alt.

Die Forscher fanden die Figur, in sechs Teile zerbrochen, im September 2008 in der Hohlen Fels-Höhle bei Schelkingen. Die etwa sechs Zentimeter hohe „Venus vom Hohlen Fels“ ist gut erhalten, nur der linke Arm samt Schulter fehlt.

Im Umfeld der Figur fanden die Archäologen auch einige Steinwerkzeuge, bearbeitete Knochen und Elfenbein sowie teilweise verbrannte

Knochenreste von Pferd, Ren, Höhlenbär, Mammut und Steinbock. Die Funde inklusive der Venus werden der frühen Aurignacien-Zeit (vor 40 000 bis 35 000 Jahren) zugeordnet, der ältesten archaischen Kultur der Jungsteinzeit (Paläolithikum) in Europa. Das Auftreten dieser Kultur wird mit der Einwanderung des anatomisch modernen Menschen (Homo sapiens) in Verbindung gebracht, im Gegensatz zum Homo neanderthalensis, der schon viele Tausend Jahre länger in Europa lebte. Die jetzt gefundene Venus vom Hohlen Fels ist der älteste Beleg für figürliche Darstellungen dieser Kultur in Schwaben und die bislang älteste Darstellung eines Menschen weltweit.

Die neu entdeckte Statuette verändert die Sicht auf die Anfänge steinzeitlicher Kunst auf radikale Weise, behauptet Conard. Vor ihrer Entdeckung überwogen unter den mehr als zwei Dutzend Figuren, die aus dem

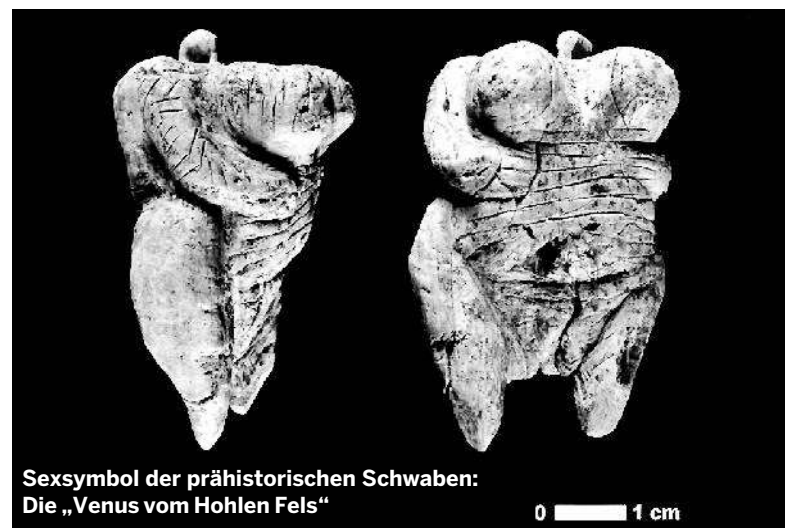
schwäbischen Aurignacien stammen, Darstellungen von Tieren und Mensch-Tier-Mischwesen. Frauendarstellungen waren völlig unbekannt. Die bisher vielfach vertretene Auffassung, dass Frauendarstellungen

erst später, in der sogenannten Gravettien-Zeit, also der mittleren Jungsteinzeit vor 27 000 bis 22 000 Jahren, erfunden wurden, sei damit widerlegt, meint Conard. Ebenso müssen Interpretationen nun infrage

gestellt werden, die von einer Dominanz starker, aggressiver Tiere oder Schamanendarstellungen in der Aurignacien-Kunst ausgehen, meint Conard.

Viele der Charakteristika der Venus vom Hohlen Fels, vor allem die groteske Hervorhebung der Geschlechtsmerkmale (überdimensionierte Brüste und Vulva) bei geringer Betonung der Kopf- und Gesichtspartie und der Arme und Beine, ähneln Merkmalen der zahlreichen bekannten Venusfiguren aus der Gravettien-Zeit. Die jetzt gefundene Venus ist also deutlich älter als etwa die archetypische „Venus von Willendorf“ (entdeckt im Sommer 1908) aus der Gravettien-Zeit. Viele ihrer Merkmale finden sich aber auch in den jüngeren Frauendarstellungen der Jungsteinzeit, die also offenbar in einer langen Tradition stehen.

Die deutlichen Geschlechtsmerkmale weisen darauf hin, dass es den jungsteinzeitlichen Künstlern offen-



Sexsymbol der prähistorischen Schwaben: Die „Venus vom Hohlen Fels“

0 1 cm