

WISSEN

EINE MINUTE PHYSIK

Lautsprecher der Zukunft

Kalifornische Wissenschaftler haben den ersten Lautsprecher mit einer Graphen-Membran gebaut

NORBERT LOSSAU

Damit ein Lautsprecher hohe Töne brillant wiedergeben kann, sollte die Masse der schwingenden Membran möglichst klein sein. Ist sie zu schwer, führt ihre Trägheit dazu, dass im oberen Frequenzbereich nichts mehr geht. Wie leicht und dünn eine Membran werden kann, ist allerdings durch deren Reißfestigkeit begrenzt. Bei der Wahl des Materials müssen also Kompromisse eingegangen werden, zumal die gute Wiedergabe tiefer Töne große Membranflächen erfordert.

Wissenschaftler der University of California in Berkeley scheinen nun aber das perfekte Material für Lautsprechermembranen gefunden zu haben: Graphen. Graphen ist eine Modifikation von Kohlenstoff, die aus atomar dünnen, zweidimensionalen Schichten besteht. Für die Erforschung des exotischen Materials Graphen wurde 2010 ein Physik-Nobelpreis verliehen.

Eine Besonderheit von Graphen ist nun, dass dieser Hauch von Nichts einerseits ultraleicht ist und andererseits doch eine Zugfestigkeit aufweist, die rund 125 Mal besser ist als die von Stahl. Zahlreiche Visionen hat es schon

gegeben, was sich aus einem solchen Wundermaterial alles bauen lassen könnte – etwa ein Lift von der Erde hinauf zu geostationären Satelliten.

Nun scheint es aber erst einmal die Hi-Fi-Technik zu sein, bei der Graphen den Sprung in den Alltag schafft. Die kalifornischen Wissenschaftler um Qiang Zhou haben nämlich einen Lautsprecher mit einer Membran aus Graphen konstruiert. Dazu beschichteten sie zunächst eine dünne Nickelfolie mit Graphen, bauten diese in einen Rahmen ein und ätzen dann das Nickel weg. Das Ergebnis war eine rund 30 Nanometer (milliardstel Meter) dünne Graphen-Membran mit einem Durchmesser von sieben Millimetern.

Ein Wechselstrom mit einer Stärke von nur einigen Nanoampere versetzte diese Membran in Schwingungen. Der Lautsprecher tönte also; und sein sehr linearer Frequenzgang war – aus dem Stand weg und ohne weitere technische Optimierung – besser als der von hochwertigen Kopfhörern, wie sie heute im Fachmarkt erhältlich sind.

Jetzt dürfte es also nur noch eine Frage der Zeit sein, bis kommerzielle Kopf- und Ohrhörer mit Graphen-Membran audiophile Ohren verwöhnen. Auch in Boxen und Mikrofonen wird die neue Technik in nicht allzu ferner Zeit wohl zu finden sein. Freuen wir uns also auf den besseren Sound „made by Grundlagenforschung“.

KOMPAKT

TIERE

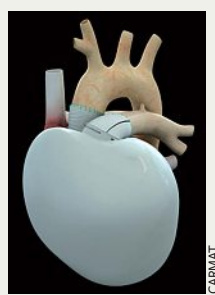
Alligatoren als Vorbild für nachwachsende Zähne

Alligatoren verlieren regelmäßig ihre Beißer: Jeder einzelne Zahn wird rund einmal im Jahr durch einen neuen ersetzt. Das berichten US-Forscher in den „Proceedings“ der US-Akademie der Wissenschaften „PNAS“. Cheng-Ming Chuong und seine Kollegen von der University of Southern California in Los Angeles untersuchen in ihrer Studie die Zähne von Alligatoren-embryos und -jungtieren genauer. Den Forschern zufolge besteht bei den Reptilien jeder Zahn aus einer dreiteiligen Einheit: einem ausgebildeten Zahn, einem kleineren unreifen Ersatzzahn und einer speziellen Gewebsschicht, die sogenannte Zahnleiste. Verliert der Alligator eines seiner 80 Kauwerkzeuge, rutscht Einheit um Einheit nach: Der Ersatzzahn entwickelt sich zum ausgewachsenen

gegebenenfalls über die eigene Einschätzung ihrer Müdigkeit hinwegzusetzen und dichter an die Übermüdungsgrenze heranzufahren, wenn ein Fahrerassistenzsystem auf sie aufpasst. Tests in einem Fahrsimulator legten ebenfalls nahe, dass sich die Probanden durch ein Warnsystem eher motiviert noch fühlten, gegen ihre Müdigkeit anzukämpfen, als eine Pause einzulegen. „Im Schnitt waren die Teilnehmer mit Müdigkeitsassistent an Bord 20 Minuten später bereit zu pausieren“, berichtete Karrer-Gauß. Müdigkeit am Steuer zählt zu den folgenschwersten Unfallursachen. „15 bis 20 Prozent aller schweren Unfälle auf Schnellstraßen sind auf Übermüdung zurückzuführen“, erklärte Karrer-Gauß. Die Psychologin hatte für ihre Untersuchung unter anderem 52 Berufskraftfahrer interviewt, die oft unter enormen Zeitdruck stehen. An den Versuchen im Fahrsimulator nahmen weitere 36 Probanden teil.

MEDIZIN

Ein neues Herz aus Plastik



Das vom französischen Herzchirurgen Alain Carpentier gegründete Unternehmen Carmat hat ein Kunststoffherz entwickelt, mit dem jetzt erstmals Patienten versorgt werden sollen. Zunächst wird es weltweit nur vier Herzzentren geben, in denen die voll implantierbaren Kunstherzen zum Einsatz kommen werden – in Belgien, Polen, Slowenien und Saudi-Arabien. Das Kunstherz wiegt nicht ganz ein Kilogramm und besitzt zwei Kammern und vier Klappen. Zwei elektrohydraulische Öl-Membranpumpen sorgen für den Blutfluss.

Zahn, die Zahnleiste wird zum neuen Ersatzzahn und vom Ersatzzahn spaltet sich eine Gewebsschicht ab, die zur neuen Zahnleiste wird. Die Forscher entdeckten an einem Ende der Zahnleiste zudem eine Art Ausbeulung – vermutlich eine Ansammlung von Stammzellen. Außerdem konnten sie Moleküle ausmachen, die eine wichtige Rolle bei der Regulation der Zahnrenewal bei den Reptilien spielen.

PSYCHOLOGIE

Müdigkeitswarner können zum Weiterfahren verleiten

Müdigkeitswarner in Autos können schläfrige Fahrer unter Umständen zur Weiterfahrt verleiten, obwohl sie das Gegenteil bewirken sollen – nämlich zu einer Pause motivieren. Darauf weist die Psychologin Katja Karrer-Gauß hin, die an der Technischen Universität (TU) Berlin über Systeme zur Müdigkeitserkennung forscht. „Verheißt ein System Sicherheit, sind Menschen generell risikobereiter“, sagte sie. Für eine Studie hatte sie unter anderem Berufskraftfahrer interviewt. Die Befragten gaben an, sich

MATTHIAS GLAUBRECHT

Im Saal der Evolution im Berliner Naturkundemuseum steht er ausgestopft ganz hinten; prächtig anzusehen, aber bereits eingereicht bei den vom Menschen ausgerotteten Arten wie dem Quagga und dem Tasmanischen Tiger. Zwar gibt es den Asiatischen Tiger noch, doch ist seine Evolution am Ende. Auf einer großformatigen Karte im Museum wird klar, wie radikal sein riesiges Verbreitungsgebiet in Asien mittlerweile auf winzige Reste zusammengeschrumpft ist: auf nur sieben Prozent des einstigen Vorkommens.

Vier der nach traditioneller Taxonomie acht Unterarten – der Kaspische, der Südchinesische, der Java- und der Bali-Tiger – sind in den letzten Jahrzehnten bereits ausgestorben, andere in unmittelbarer Gefahr, ihnen zu folgen. In einigen Regionen wie der indonesischen Insel Sumatra oder in der Amur-Region im Osten Russlands leben nur noch 350 oder 400 Tiere; nicht besser steht es um die rund 250 Malaisischen Tiger.

Off leben die letzten ihrer Art weit voneinander isoliert, zudem sind es nur noch wenige. Zwar glauben einige Zoologen, dass die Größe einer verbleibenden Population allein nicht ausschlaggebend für ihr Überleben ist und auch kleine Bestände durchkommen können. Doch lässt gerade die bisherige Geschichte des Tigers kaum hoffen.

Im Jahr 2000 gingen die Experten noch von schätzungsweise 5000 bis 6000 der gestreiften Raubkatzen in ganz Asien aus. Dann stellte sich heraus, dass vor allem in Indien die Zählmethode höchst fehlerhaft war und man die Bestandsangaben auf alarmierende Weise nach unten korrigieren musste. Für 2010, das nach dem chinesischen Kalender letzte „Jahr des Tigers“ wurden nur noch 3500 Tiere ermittelt; nach aktuellen Hochrechnungen sind kaum mehr als 3000 Tiger in freier Wildbahn übrig geblieben. Etwa die Hälfte von ihnen – nach jüngsten Zählungen 1700 Tiere – lebt in Indien; davon ist allerdings nicht einmal jedes dritte Tier ein gebärfähiges Weibchen.

Längst leben fünf bis sieben Mal mehr Tiger im Zoo und Zirkus als in der Natur. Und dort scheinen ihre Tage gezählt. Bis zum nächsten Jahr des Tigers 2022, so wird ernsthaft befürchtet, könnte dieser vollständig aus der Wildnis verschwunden sein – nicht ausgestorben zwar, aber als größte wild lebende Raubkatze der Erde am Ende. Dabei war der mächtige, fast vier Meter lange *Panthera tigris* einst der König des Dschungels – als Menschenfresser gefürchtet und zugleich als göttliches Wesen verehrt.

Tiger gelten vielfach als der Inbegriff von Kraft, Stärke und Wildheit, strotzend vor Energie; sie stehen aber auch für Schönheit und Grazie. Früher waren sie über weite Teile des asiatischen Kontinents, vom Kaukasus bis zum Amur und auf den indonesischen Sunda-Inseln verbreitet; angepasst an tropischen Regenwald und Mangroven ebenso wie an die sibirische Taiga. Um 1900 dürften es schätzungsweise noch 100.000 Tiger in ganz Asien gewesen sein. Erst die maßlose Trophäenjagd, dann der rapide Verlust an Lebensraum, jüngst die skrupellose Wilderei organisierter Banden, gut ausgerüstet mit Gewehren und Geländewagen, ließ die Bestände um mehr als 95 Prozent einbrechen.

Heute sind die einst tagaktiven Raubkatzen längst in die Nacht und die Nationalparks abgedrängt. Längst braucht der einstige Herrscher des Dschungels selbst in diesen Schutzgebieten Leibwächter. Trotz eines seit Jahrzehnten bestehenden, internationalen Handelsverbots werden die Raubkatzen in ganz Asien weiterhin illegal in Fallen gefangen und abgeschossen. Denn kaum ein Teil des Tigerkörpers, der sich in der traditionellen chinesischen Heilkunde nicht gewinnbringend an Abergläubige verkaufen lässt – mit gewaltigen Gewinnmargen, die jedes Risiko belohnen und die Wildererergangs gewaltbereit gegenüber den hilflosen Wildhütern machen.

Nie gab es so viele wohlhabende Chinesen, für die die traditionelle Medizin erschwinglich geworden ist; so steigt seit Jahren der Bedarf an Tigerknochen, weil die angeblich sogar die Potenz heben sollen. Illegale Märkte – vor allem in der schwer kontrollierbaren Grenzregion zwischen Birma, China und Thailand, wo sich chinesische Touristen mit Tigermedizin, Glücksbringern aus Tigerkrallen oder mit Fellen eindecken – sind zum Drehkreis des internationalen Artenschmuggels geworden. Zusammen mit dem Verlust natürlicher Lebensräume bedeutet Nachfrage und Ausverkauf den finalen Todesstoß für die letzten Tiger.

Daran konnte auch eine internationale Tigerkonferenz im November 2010 im russischen Sankt Petersburg nichts ändern, bei der sich zum ersten Mal die Regierungschefs aus allen 13 Nationen trafen, in denen noch wilde Tiger leben. Sie berieten, wie das Aussterben der majestätischen Großkatzenart noch verhindert werden kann. Zur „letzten Hoffnung“ für Tiger wie Naturschützer wurden seitdem 42 über ganz Asien, von Sibirien bis Sumatra, verstreute Gebiete in und um bereits bestehende Reservate, sogenannte „source sites“ oder Herkunftsorte, auf die man die Schutzmaßnahmen zukünftig konzentrieren will.

In diesen letzten Tigerhochburgen leben 70 Prozent aller wilden Tiger, insbesondere noch genug – das heißt jeweils mindestens 25 fruchtbare – Weibchen. Indes wurden viele dieser Reservate zu-

letzt nicht gut geführt. Nun will man in ihnen strenger darüber wachen, dass Gesetze eingehalten werden; zugleich soll sich die wissenschaftliche Beobachtung verbessern. Dann könnten sich die Tiger dort wieder vermehren und von diesen Orten ausgehend verwaiste Regionen neu bevölkern, hoffen die Naturforscher.

Zusammengenommen umfassen diese letzten Bastionen gegen das Aussterben des Tigers nicht mehr als 100.000 Quadratkilometer; das sind weniger als 0,5 Prozent des historischen Verbreitungsgebietes und nur sechs Prozent des derzeitigen Vorkommens. Die Kosten für den besseren Schutz der Tiger seien erschwinglich, schreiben die Forscher im Journal „Plos Biology“. Im Durchschnitt würden Schutz und Überwachung in allen 42 Hochburgen 82 Millionen Dollar pro Jahr kosten. 47 Millionen Dollar wer-

den indes bereits von Tigerstaaten und Umweltschützern investiert, ein Großteil von Indien.

Tatsächlich liegen die meisten dieser potenziell zukunftsreichen Herkunftsorte, insgesamt 18, auf dem indischen Subkontinent. Hier, so sind viele überzeugt, entscheidet sich ohnehin das Schicksal der Tiger, nachdem anderswo in Asien nur noch versprengte Kleinstbestände überlebt haben, in denen es kaum noch genügend fortpflanzungsfähige Tiere gibt. In Indien, wo 60 Prozent der letzten Tiger leben, ließen sich die Kernpopulationen mit mehr als 80 Tieren in den größeren Reservate zudem durch Korridore verbinden, so hoffen die einen. Doch die einseitige Schutzstrategie, sich allein auf den Aufbau kopfstärkerer Tigerbestände nur in den wenigen Reservaten zu konzentrieren, birgt Gefahren, meinen andere.

In der aktuellen Ausgabe der „Proceedings of the Royal Society“ weisen Forscher um Uma Ramakrishnan aus Bangalore in Indien durch den molekulargenetischen Vergleich von 53 Museumsstücken mit Stichproben aller noch in Indien lebenden Tiere nach, dass die genetische Vielfalt beim Tiger erheblich zurückgegangen ist. Zugleich ist dieser verbliebene Genbestand stark zergliedert; so weist jede isolierte Population ein anderes, ihr eigenes genetisches Signal auf. Die Fragmentierung der letzten Lebensräume des Tigers in Indien hat somit auch zu einer Art Verinselung der genetischen Vielfalt geführt, gleichsam zu Inzuchtlinien, die durch das letztlich inzestöse Aufbauen kopfstärkerer Bestände zukünftig weiter verstärkt wird.

Der Bengal-Tiger ist in genetischer Hinsicht verarmt, als seine Bestände in den vergangenen Jahrzehnten immer mehr einbrachen. Dieser Verlust an genetischer Vielfalt aber, der auch bei anderen bedrohten Arten wie Gepard, Puma und Tasmanischer Tiger bekannt ist, bedeutet eine akute Gefahr – und könnte letztlich das Aussterben des Tigers besiegeln. Mahnte der ausgestopfte Tiger im Berliner Naturkundemuseum also bereits als Menetekel an der richtigen Stelle platziert? Dass er bald nur noch als Mythos weiterleben wird, als animierte Reklame-Raubkatze nur noch durch unserer Fantasie streift, ist mit der jüngsten Studie weiter zur Gewissheit geworden.

Wie jüngste Fossilfunde belegen, ist der Tiger vor mehr als 2,5 Millionen Jahren im nördlichen China entstanden. Über das asiatische Festland Asiens hat sich diese größte der Katzen westlich bis zum Kaukasus ausgebreitet; sie ist auch südlich über den Korridor der malaisischen Halbinseln bis auf die Sunda-Inseln Sumatra, Java und Bali gelangt, als der Meeresspiegel während der Eiszeiten zeitweise deutlich tiefer lag. Molekulargenetische Studien werfen jetzt nicht nur neues Licht auf die Evolutionsgeschichte des Tigers, sondern die traditionelle Taxonomie an einigen Stellen über den Haufen.

Bislang gingen Zoologen meist von acht geografisch getrennten Unterarten des *Panthera tigris* aus. Von diesen starb Ende der 30er-Jahre zuerst der Bali-Tiger aus; in den 70er-Jahren folgte der Kaspische Tiger, in den 80er-Jahren dann der Tiger auf Java. Seit den späten 90er-Jahren gilt zudem der Südchinesische Tiger als ausgestorben. Schwacher Trost für Artenschützer ist da, dass vergleichende Studien am Knochenbau jüngst nahelegten, dass der Bali-Tiger wohl nur eine Lokalform des benachbarten Java-Tigers war. Letzterer allerdings dürfte tatsächlich eine eigenständige Art gewesen sein, die nun ausgerottet ist.

Ebenso billigen Forscher neuerdings dem akut vom Aussterben bedrohten Sumatra-Tiger den Status einer Art zu und stellen ihn als Inselform dem auf dem Festland lebenden Bengal-Tiger mit seinen vier noch überlebenden Unterarten gegenüber. Jüngst erkannte man dabei mit dem Malaisischen Tiger eine bis dahin übersehene eigenständige Unterart.

Dagegen ließ sich am Museumsmaterial des ausgestorbenen Kaspischen Tiger in einer unter Experten für Aussehen sorgenden Arbeit zeigen, dass dieser keine eigenständige Unterart war, sondern nächstverwandt mit dem stark gefährdeten Amur-Tiger. Ihr gemeinsamer Ahne dürfte einst aus Ostchina kommend über den engen Korridor der Seidenstraße das westliche Asien kolonisiert haben.

Die Nachfahren gelangten später quer durch Sibirien wieder zurück in die Amur-Region. Die Forscher vermuten, dass eine nur kleine Gründerpopulation auch dort für die genetische Verarmung des Tigers verantwortlich ist, was heute durch Inzucht das Überleben dieser letzten Bestände zusätzlich gefährdet.

Abschied vom Tiger

In einem Jahrzehnt dürfte die Raubkatze, so prognostizieren Wissenschaftler, in freier Wildbahn ausgerottet sein



Tiger galten einst als göttliche Wesen