



Geisterhaft wirkt die Casimir-Kraft: Sie zieht aus dem Nichts Nanoteilchen zueinander und legt so Nanomaschinen lahm. Die Erkenntnisse von Stuttgarter Physikern könnten nun helfen, die Blockade aufzuheben.

ILLUSTRATION: DIETMAR GROSSE

PHYSIK

## Kräfte aus dem Nichts

Wenn eine Maschine klemmt, ist der Ingenieur schuld – oder die Physik. Letzteres gilt zumindest für die ersten einfachen Nanomaschinen, die von der Casimir-Kraft gebremst werden. Diese Kraft wirkt nur auf Abständen von einigen millionstel Zentimetern und lässt winzige Maschinenteile aneinanderhaften. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Metallforschung und der Universität Stuttgart haben eine ähnliche Kraft

nun auch in einer Mischung zweier Flüssigkeiten beobachtet. Sie konnten außerdem einen Weg aufzeigen, die Wirkung dieser Kraft umzukehren, wodurch sich mögliche Blockaden von Nanomaschinen künftig vielleicht vermeiden lassen. Das macht es möglich, Maschinen weiter zu miniaturisieren und etwa mechanische Schalter oder Sensoren im Nanometermaßstab herzustellen. (NATURE, 10. Januar 2008)

Von nichts kommt nichts. Nur in der Physik ist das manchmal anders. So ziehen sich zwei Metallplatten auf geheimnisvolle Weise an, wenn sie sich im Vakuum und am absoluten Nullpunkt der Temperatur etwa einen halben Mikrometer gegenüber stehen. Die Kraft, die beide Platten zusammenschiebt, rührt von quantenmechanischen Schwankungen des Vakuums her – also eigentlich aus dem Nichts. Solche Fluktuationen stellen Schwankungen elektromagnetischer Wellen dar. Diese müssen auf den Oberflächen der beiden elektrisch leitenden Platten einen Knoten besitzen. Das schränkt die Zahl erlaubter Wellen zwischen den Platten stark ein. Außerhalb der Platten können sie sich dagegen ungehindert ausbreiten. Hieraus ergibt sich letztendlich eine anziehende Kraft zwischen den Platten.

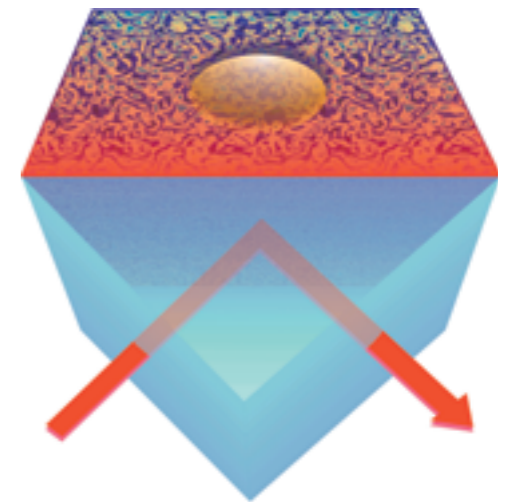
Dieser Effekt, den der Physiker Hendrik Casimir 1948 voraussagte, lässt die Bauteile von Nanomaschinen aneinanderkleben. Clemens Bechinger, Professor an der Universität Stuttgart und seit Beginn des Jahres auch Max-Planck-Fellow, Christopher Hertlein und weitere Mitarbeiter haben eine ganz ähnliche Kraft nun auch in einer Mischung von Wasser und der öligen Flüssigkeit Lutidin beobachtet: die kritische Casimir-Kraft. „Diese Kraft ist so schwach, dass sie nur sehr schwer nachzuweisen ist“, sagt Clemens Bechinger. Die Messergebnisse stimmen dabei sehr gut mit Werten überein, die Siegfried Dietrich, Direktor am Stuttgarter Max-Planck-Institut für Metallforschung, und seine Mitarbeiter theoretisch vorhergesagt haben.

Die kritische Casimir-Kraft verdankt ihren Namen der kritischen Temperatur, nahe der sie auftritt. Solch eine kritische Temperatur existiert etwa für ein Gemisch aus Wasser und Lutidin und beträgt in diesem Fall 34 Grad Celsius. Unterhalb von 34 Grad bilden die Flüssigkeiten eine klare Lösung, darüber trennen sie sich in zwei unterschiedliche Gemische – Physiker sprechen von zwei Phasen –, von denen eine viel Lutidin, die andere viel Wasser enthält.

Bei dieser Temperatur entstehen die beiden Phasen jedoch nicht schlagartig, wie etwa Wasser am Gefrierpunkt zu Eis erstarrt. Vielmehr bilden sich auch knapp darunter schon Bereiche, die mehr Lutidin oder mehr Wasser enthalten. Je weiter sich die Temperatur jedoch dem kritischen Punkt nähert, desto größer werden diese Bereiche und desto länger bleiben sie bestehen.

„Wie die Konzentration von Wasser und Lutidin in unterschiedlichen Bereichen der Mischung schwankt, ähnelt den quantenmechanischen Fluktuationen im Vakuum“, sagt Siegfried Dietrich. Und wie diese erzeugen die Konzentrationschwankungen auch eine anziehende Kraft zwischen Oberflächen, wie die Forscher nun nachgewiesen haben.

„Das ist uns nur gelungen, weil unsere Messmethode mehrere tausend Mal sensibler ist als ande-



Messung in der Schwebekugel: Ein Lichtstrahl wird an einer Gefäßwand total reflektiert, nur ein wenig Licht leckt in das Gefäß. Wie viel die Kugel davon reflektiert, hängt stark von ihrem Abstand zur Wand und damit von der Kraft ab, die sie zur Wand zieht.

re Verfahren“, sagt Cristopher Hertlein, einer der beteiligten Wissenschaftler. Die Forscher richten einen Lichtstrahl flach gegen den Boden eines Gefäßes mit dem Wasser-Lutidin-Gemisch, sodass nur sehr wenig Licht in die Flüssigkeit leckt. Wie viel davon von einem ein Mikrometer großen Plastikstückchen, das nahe der Gefäßwand schwebt, reflektiert wird, messen sie. Daraus bestimmen sie den Abstand zwischen Kugel und Wand und letztlich die Kraft zwischen beiden. Diese beträgt demnach nur 600 Femto-Newton, also weniger als den millionsten Teil der Gewichtskraft eines Flohs.

Diese Kraft zieht die Kunststoffkugel aber nur dann zur Glaswand, wenn Glas und Kunststoffkugel beide von Wasser oder Öl benetzt werden. Wird dagegen eine Oberfläche von Öl, die andere von Wasser benetzt, treibt die kritische Casimir-Kraft die Kugel von der Glaswand weg. Dann nämlich bilden sich an der einen Oberfläche Bereiche mit viel Öl und an der anderen solche mit viel Wasser. Da es Energie kostet, die wasserreiche mit der ölreichen Phase in direkten Kontakt zu bringen, wird die Kugel abgestoßen.

„Diese abstoßende Kraft haben wir nach unseren theoretischen Untersuchungen erwartet“, sagt Dietrich. Mit ihr könnte sich die Blockade von Nanomaschinen aufheben lassen. Solche Maschinen im Maßstab von wenigen millionstel Zentimetern könnten künftig vielleicht Operationen ohne größere Eingriffe erlauben oder Medikamente gezielt zu einem Krankheitsherd transportieren. „Wenn diese Maschinen in einem Flüssigkeitsgemisch nahe am kritischen Punkt arbeiteten, ließe sich die blockierende Casimir-Kraft zwischen ihren Einzelteilen ausschalten“, so Siegfried Dietrich. Geeignete Beschichtungen könnten eine abstoßende Kraft zwischen den Maschinenteilen bewirken, sodass der Apparat rund läuft. Das zu erreichen ist eines der Ziele, die Dietrichs theoretische Gruppe und Bechingers experimentelle Gruppe künftig gemeinsam verfolgen werden.



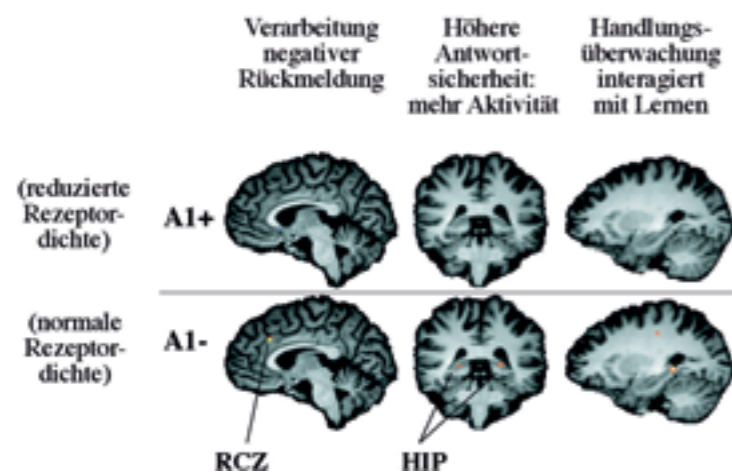
© Kontakt:  
PROF. DR.  
SIEGFRIED DIETRICH  
Max-Planck-Institut  
für Metallforschung,  
Stuttgart  
Tel.: + 49 711  
689 1920  
E-Mail: dietrich@  
mf.mpg.de

PROF. DR.  
CLEMENS BECHINGER  
Universität Stuttgart  
Tel.: + 49 711  
685 65218  
E-Mail: C.Bechinger@  
physik.uni-stuttgart.de

NEUROLOGIE

## Nicht jeder lernt aus Fehlern

Wer denselben Fehler zweimal macht, kann dafür jetzt seinen Genen die Schuld geben. Forscher vom Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in Leipzig haben nämlich festgestellt, dass Menschen mit weniger Rezeptoren für den Botenstoff Dopamin im Gehirn schlechter aus Fehlern lernen als jene mit höherer Rezeptordichte. Die geringere Dichte dieses D2-Rezeptors findet sich bei Menschen, die eine Variante von dessen genetischem Bauplan tragen, die als A1-Allel bekannt ist. Wer sie trägt, lernt aber möglicherweise nicht nur schlechter aus negativem Feedback, sondern neigt eventuell auch eher zu einer Sucht oder zu selbstschädigendem Verhalten. (SCIENCE, 7. Dezember 2007)



Tadel ohne Wirkung: Bei Menschen mit geringerer D2-Rezeptordichte reagiert das pMFC-Areal schwächer auf negatives Feedback (links). Und ihr Hippocampus (Hip) ist weniger aktiv, wenn sie den Lernerfolg nachweisen sollen (Mitte). In der A1-Gruppe spielen beide Areale besser zusammen (rechts).

Nicht jeder setzt Lob und Tadel gleich um. Wie wir aus positivem und negativem Feedback lernen, ist dabei noch nicht klar. Immerhin: Eine wichtige Hilfe dabei ist offenbar der Botenstoff Dopamin. Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften, der Universitäten Bonn und Gießen sowie vom Max-Planck-Institut für neurologische Forschung haben nun herausgefunden, dass Menschen mit einer geringen Dichte des Dopamin-D2-Rezeptors schlechter auf negatives Feedback ansprechen als Menschen mit normaler Rezeptordichte. Diese tragen an einer bestimmten Stelle des Rezeptorgens die Base Cytosin, Biologen sprechen von der A1--Variante. Menschen mit weniger D2-Rezeptoren besitzen die A1+-Variante des Gens, bei der sich an derselben Stelle die Base Tyrosin findet.

Um zu testen, wie gut die Träger der beiden Genvarianten Lob und Tadel umsetzen, zeigten die Wissenschaftler 26 Testpersonen auf einem Bildschirm drei Paare von abstrakten Symbolen. Zwölf Probanden trugen das A1+-Allel, 14 die A1--Variante. Von den jeweils zwei Symbolen, die chinesischen Schriftzeichen ähneln, sollten sie eins

auswählen. Die Wissenschaftler hatten zuvor ein Symbol mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zum richtigen erklärt. Entschieden sich die Testpersonen für dieses, lachte sie ein Smiley vom Monitor an. Andernfalls tadelte sie ein trauriges Gesicht. In einer weiteren Runde mussten die Probanden nun zeigen, was sie gelernt hatten. Demnach hatte der traurige Smiley bei den Trägern des A1+-Allels weniger gewirkt als bei den Vergleichspersonen. Bei den Reaktionen auf das lachende Gesicht konnten die Wissenschaftler dagegen keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen feststellen.

Dass die A1+-Gruppe schwächer auf Tadel reagiert, zeigte sich auch in Untersuchungen mit funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT).

Damit identifizierten die Wissenschaftler die Hirnregionen, die auf negatives Feedback reagieren. „Die A1+-Gruppe zeigt auf negative Rückmeldungen dabei eine geringere Reaktivität im posterioren medialen frontalen Kortex (pMFC)“, sagt Tilmann Alexander Klein vom Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften. Diese Hirnregion ist maßgeblich daran beteiligt, Handlungsergebnisse zu überwachen. Erstmals wiesen die Forscher zudem ein funktionelles Zusammenspiel zwischen diesem Hirnareal und dem Hippocampus nach, der für das Lernen entscheidend ist. „Auch dieses Zusammenspiel ist bei Personen der A1+-Gruppe abgeschwächt“, sagt Kleins Kollege Markus Ullsperger.

Dass Dopamin wesentlich zum Lernen aus Feedback beiträgt, könnte auch erklären, inwiefern es an einer Sucht oder Zwangsstörung beteiligt ist: „Dass die A1+-Probanden weniger empfindlich auf negatives Feedback reagieren, liefert erste Hinweise auf einen möglichen neurobiologischen Mechanismus, der die Entwicklung von Sucht und selbstschädigendem Verhalten begünstigen könnte“, so Klein.

BILD: TILMANN KLEIN / MARKUS ULLSPERGER

**Kontakt:**  
TILMANN  
ALEXANDER KLEIN  
Max-Planck-Institut  
für Kognitions- und  
Neurowissenschaften,  
Leipzig  
Tel.: +49 341  
35521-753  
E-Mail: tklein@  
cbs.mpg.de

**DR. MARKUS ULLSPERGER**  
Max-Planck-Institut  
für neurologische  
Forschung, Köln  
Tel.: +49 2214  
726-224  
E-Mail: markus.  
ullsperger@nf.mpg.de

ASTRONOMIE

## Blick in eine kosmische Krippe

Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Astronomie in Heidelberg haben den jüngsten bisher bekannten Planeten außerhalb des Sonnensystems entdeckt. Seinen Mutterstern umgibt noch jene Gas- und Staubscheibe, aus der er kürzlich geboren wurde. Diese Beobachtung erlaubt wichtige Rückschlüsse auf den zeitlichen Ablauf der Planetenbildung. (NATURE, 3. Januar 2008)

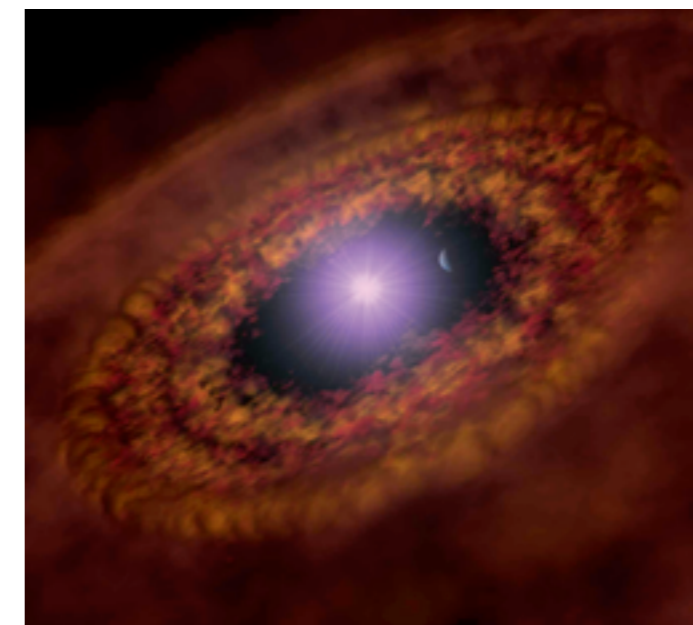
In die Kinderstube eines Planeten haben die Heidelberger Astronomen geblickt. Mit dem Spektrographen Feros am 2,2-Meter-Teleskop der Max-Planck-Gesellschaft und der Europäischen Südsternwarte (ESO) auf La Silla in Chile fanden sie einen Planeten, der den nahen Stern TW Hydrae umkreist. TW Hydrae ist mit einem Alter von nur acht bis zehn Millionen Jahren etwa 500 Mal jünger als unsere Sonne. Außerdem umgibt ihn noch eine zirkumstellare Scheibe aus Gas und Staub. Und eben an deren innerem Rand haben die Forscher nun den neuen Planeten gefunden.

„Damit ist uns erstmals der direkte Beweis gelungen, dass Planeten tatsächlich in zirkumstellaren Scheiben geboren werden“, sagt Thomas Henning, Direktor der Abteilung Planeten- und Sternentstehung am Max-Planck-Institut für Astronomie. Der neue Himmelskörper, TW Hydrae b, zählt zu den „Schwergewichten“: Er besitzt etwa die zehnfache Masse des Jupiter – des größten Planeten in unserem Sonnensystem – und umläuft seinen Zentralstern in nur 3,56 Tagen in einer Entfernung von etwa sechs Millionen Kilometern, entsprechend vier Prozent des Abstands zwischen Erde und Sonne.

Da Planeten nahe bei einem Stern wie Glühwürmchen neben einem Flutlichtstrahler erscheinen, lassen sie sich nur indirekt nachweisen: Sie zerren mit ihrer Gravitation an ihrem Mutterstern – und zwar in periodisch wechselnder Richtung. Dadurch variiert aus unserer Perspektive die Geschwindigkeit des Sterns: Einmal kommt er ein Stück auf uns zu, dann läuft er von uns weg. Im ersten Fall werden die Lichtwellen des Sterns gestaucht (Blauverschiebung), im zweiten Fall gedehnt (Rotverschiebung). Dieser Dopplereffekt er-

laubt es außerdem, die untere Grenze der Planetenmasse zu bestimmen.

„Solche periodische Veränderungen, die auf einen planetaren Begleiter hindeuten und nicht von Sternflecken herrühren können, fanden wir auch bei TW Hydrae“, sagt Johny Setiawan, der Leiter des Beobachtungsprogramms. Sternflecken, die ein Maß für die Aktivität eines Sterns liefern, können die Variation der Radialgeschwindigkeit vortäuschen – besonders bei einem jungen Stern, dessen Oberfläche noch heftig brodelte. „Aber die Aktivitätsindikatoren bei TW Hydrae sind weniger regelmäßig und zeigen kürzere Perioden als die



Auf engster Bahn umläuft der neu entdeckte Riesenplanet seinen jungen, aktiven Zentralstern am inneren Rand seiner zirkumstellaren Scheibe aus Gas und Staub (künstlerische Darstellung).



**Kontakt:**  
DR. JOHNY SETIAWAN  
Max-Planck-Institut  
für Astronomie,  
Heidelberg  
Tel. + 49 6221  
528-326  
Fax: + 49 6221  
528-246  
E-Mail: setiawan@  
mpia.de

**DR. RALF LAUNHARDT**  
Max-Planck-Institut  
für Astronomie,  
Heidelberg  
Tel.: + 49 6221  
528-207  
Fax: + 49 6221  
528-246  
E-Mail: rlaun@  
mpia.de

BILD: MPI FÜR ASTRONOMIE

## ANTHROPOLOGIE

## Wanderlustige Neandertaler

Die Zähne verraten manches über das Leben eines Menschen – auch wie mobil er war. Wissenschaftler des Leipziger Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie und der Durham University in Großbritannien haben am Schmelz eines Neandertaler-Zahns festgestellt, dass der Neandertaler weiter herkam, als viele Wissenschaftler bislang dachten. Zumindest verriet die Zusammensetzung des Zahnschmelzes, dass er sich an einem Ort gebildet hat, der weit vom Fundort des Zahns entfernt liegt. (JOURNAL OF ARCHAEOLOGICAL SCIENCE, 11. Februar 2008)

Den 40 000 Jahre alten Backenzahn fanden die Forscher während einer Ausgrabung, die Eleni Panagopoulou vom Griechischen Ministerium für Kultur leitete, in einer Kalksteinhöhle an der Küste des südgriechischen Lakonis. Der Zahn bildete sich, als der Neandertaler zwischen sieben und neun Jahre alt war. Wissenschaftler um Michael Richards vom Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie schnitten mit einem Laserstrahl winzige Partikel aus dem Zahnschmelz. Mit einem Massenspektrometer analysierten sie in den Proben den Anteil verschiedener Strontium-Isotope – also unterschiedlich schwerer Spielarten dieses Metalls. Dabei stellten sie fest, dass das Verhältnis der einzelnen Isotope nicht dem am Fundort des Zahns entspricht.

Das natürlich vorkommende Metall Strontium nehmen wir mit Wasser und Nahrung auf und ab-

sorbieren es in den Zähnen. Das Verhältnis der einzelnen Strontium-Isotope hängt von den geologischen Gegebenheiten einer bestimmten Gegend ab. „Unsere Tests zeigen, dass der Neandertaler, während sich seine Zahnkrone herausbildete, an einem anderen Ort als dem Fundort des Zahns lebte“, sagt Michael Richards. Demnach bestand der Boden dort aus einem älteren vulkanischen Grundgestein.

Diese neuen Erkenntnisse könnten etwas mehr Klarheit in der Debatte schaffen, wie mobil unsere ausgestorbenen Verwandten waren. Einige Forscher gehen davon aus, dass Neandertaler ihr Leben größtenteils an einem Ort verbrachten, während andere annehmen, dass sie in ihrem Leben längere Wanderungen zurücklegten. Wiederum andere Forscher sind der Meinung, dass Neandertaler sich innerhalb eines begrenzten Gebiets bewegten, möglicherweise aufgrund einer saisonalen Notwendigkeit bei der Nahrungsbeschaffung.

„Unsere Ergebnisse belegen, dass dieser Neandertaler sich im Laufe seines Lebens über eine Entfernung von wenigstens 20 Kilometern, vielleicht sogar mehr, fortbewegt hat“, sagt Richards: „Wir können davon ausgehen, dass Neandertaler von einem Ort zum anderen zogen und nicht in geografisch eingeschränkten Arealen lebten.“

Katerina Harvati, die ebenfalls am Leipziger Max-Planck-Institut forscht und die Studie ins Leben gerufen hatte, sagt: „Frühere Hinweise auf die Mobilität der Neandertaler stammen nur aus indirekten Quellen.“ Das sind Steinwerkzeuge oder Artefakte, die nicht aus der Region stammen konnten, wie etwa Muscheln, die man weit entfernt von der Küste fand. „Aber keine dieser Quellen half uns bisher dabei, die Mobilität der Neandertaler mit einer Zahl zu versehen“, so Harvati

Die Forscher glauben, dass sie mittels der Laser-Technologie auch andere seltene Neandertalerfossilien untersuchen und Vergleiche anstellen können, wie mobil Neandertaler in anderen Regionen oder zu einem anderen Zeitpunkt gewesen sind. Mit der neuen Technik könnten die Wissenschaftler darüber hinaus kleinere Migrationen näher betrachten, die sich mit herkömmlichen Forschungsmethoden nicht untersuchen ließen. ●



Backenzahn eines Neandertalers aus einer Kalksteinhöhle an der Küste von Lakonis.

FOTO: MPI FÜR EVOLUTIONÄRE ANTHROPOLOGIE

📧 Kontakt:  
**PROF. DR.**  
**MICHAEL RICHARDS**  
 Max-Planck-Institut  
 für evolutionäre  
 Anthropologie  
 Tel.: +49 341  
 3550-352  
 Fax: +49 341  
 3550-399  
 E-Mail: richards@  
 eva.mpg.de

## QUANTENOPTIK

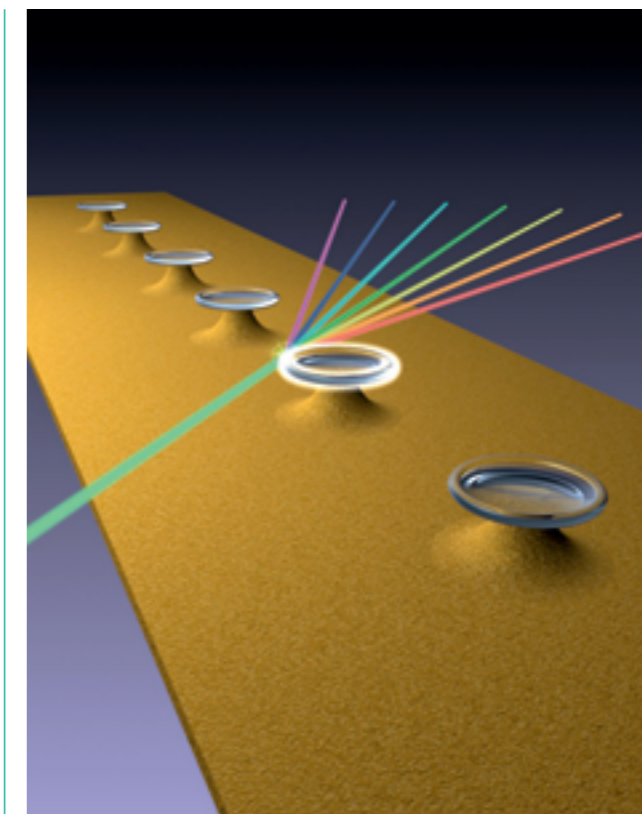
## Lichtlineal auf einem Siliziumchip

Lichtfrequenzen könnten sich bald extrem präzise auf einem Mikrochip messen lassen. Den Frequenzkamm, der solche Messungen erlaubt, haben Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching nun auf einem Mikrochip mithilfe eines ringförmigen Resonators von nicht einmal Haaresbreite erzeugt. Für die Entwicklung des Frequenzkamms hat Theodor Hänsch vom Garchinger Max-Planck-Institut 2005 den Nobelpreis erhalten. Da der Frequenzkamm nun deutlich handlicher wird, ermöglicht er auch neue Techniken der Zeitmessung und Datenübertragung. (NATURE, 20. Dezember 2007)

Ein Frequenzkamm stellt eine Art Lineal dar, mit dem sich Frequenzen von Licht sehr genau bestimmen lassen. Er wird in einem Laser, der sehr kurze Pulse aussendet, erzeugt, indem dessen Schwingungsfrequenzen miteinander gekoppelt werden. Dabei entsteht Laserlicht, das an die 100 000 sehr dicht benachbarte Spektrallinien enthält, deren Frequenzabstand immer gleich und extrem genau bekannt ist – daher die Bezeichnung Kamm. Wenn man diesen Frequenzkamm mit einem anderen Laserstrahl mit unbekannter Frequenz überlagert, entsteht eine Schwebung wie bei zwei Tönen fast gleicher Tonhöhe. Aus dieser Schwebung lässt sich die unbekannte Frequenz mit bis dato unerreichter Genauigkeit bestimmen. Das Gerät, das einen Frequenzkamm dieser Art produziert, besteht bislang jedoch aus vielen einzelnen Bauteilen und ist größer als ein Desktop-Computer.

Nun haben die selbstständige Max-Planck-Nachwuchsgruppe von Tobias Kippenberg mit Ronald Holzwarth von der Firma Menlo Systems, die weltweit die Frequenztechnik vertreibt, einen Frequenzkamm in einem ringförmigen Glas-Resonator mit nur 75 Mikrometer Durchmesser auf einem Siliziumchip erzeugt. Die Mikroresonatoren stellte Pascal Del'Haye im Reinraum von Professor Jörg Kotthaus von der Ludwig-Maximilians-Universität München her. Licht lässt sich in den Resonator einkoppeln, indem ein Laserstrahl in einer Nanofaser aus Glas dicht daran vorbeigeführt wird.

Die Mikroresonatoren können Licht relativ lang speichern. Das kann zu extrem hohen Lichtintensitäten – sprich Photonendichten – führen. Dabei tritt der Kerr-Effekt auf: In diesem Prozess entstehen aus zwei Photonen, Lichtteilchen oder –quanten gleicher Energie zwei neue Photonen, von denen eines eine höhere, das andere eine niedrigere als die ursprüngliche Energie hat. Diese neuen Photonen interagieren nun ihrerseits mit den ursprünglichen Lichtquanten und erzeugen



Zum Frequenzkamm fächert ein Mikroresonator einfarbiges Licht auf.

dabei wiederum neue Frequenzen. Aus dieser Kaskade entsteht ein breites Spektrum von Frequenzen: ein Frequenzkamm. „Es handelt sich dabei um einen völlig neuen Entstehungsprozess“, sagt Tobias Kippenberg.

Mit dem neuartigen Frequenzkamm könnten sich künftig extrem genaue Uhren konstruieren lassen. Anwendungen sind aber auch in der optischen Telekommunikation möglich: Während beim herkömmlichen Frequenzkamm die Linien extrem dicht liegen und recht lichtschwach sind, haben die etwa 130 Spektrallinien des monolithischen Frequenzkamms einen Abstand von ungefähr 400 Gigahertz und Leistungen in der Größenordnung von einem Milliwatt. Dies entspricht ziemlich genau den Anforderungen für die Träger der Datenkanäle in der optischen Telekommunikation über Glasfasern. Bisher ist für jeden Frequenzkanal ein eigener Generator mit eigenem Laser erforderlich. Dagegen ließe sich mit einem Frequenzkamm auf einem Mikrochip eine Vielzahl von Datenkanälen definieren. „Bevor der Frequenzkamm jedoch in der Praxis zum Einsatz kommen kann, müssen wir noch weiter an der Technik feilen“, sagt Tobias Kippenberg. ●

📧 Kontakt:  
**DR. TOBIAS KIPPENBERG**  
 Max-Planck-Institut  
 für Quantenoptik,  
 Garching  
 Tel.: +49 89  
 32905-727  
 E-Mail:  
 tobias.kippenberg@  
 mpq.mpg.de

FOTO: MPI FÜR QUANTENOPTIK

PSYCHIATRIE

## Das Heil liegt in den Genen

Eine ganze Reihe von Medikamenten können schwere Depressionen lindern. Doch nicht alle Substanzen wirken bei jedem Patienten.

Florian Holsboer und seine Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Psychiatrie haben nun eine Möglichkeit gefunden, den Erfolg einiger Antidepressiva abzuschätzen. Wie sie festgestellt haben, entscheidet nämlich das Profil des Gens ABCB-1, wie hoch die Konzentration bestimmter Psychopharmaka im Gehirn ist – und somit, wie gut diese wirken. Bislang war wenig darüber bekannt, warum Patienten so unterschiedlich auf Antidepressiva ansprechen. (NEURON, 11. Januar 2008)



ABCB-1 Gen kodiert für das P-Glykoprotein, welches Substanzen aus der Hirnflüssigkeit ins Blut zurückpumpt.

Inwieweit Unterschiede im P-Glykoprotein beim Patienten für die Behandlung wichtig sind, erforschten Manfred Uhr und seine Kollegen in einer von der Exzellenz-Stiftung der Max-Planck-Gesellschaft geförderten Studie. An 443 Patienten mit einer Depression stellten sie fest, dass mehrere Einzelnukleotid-Unterschiede (SNPs) im ABCB-1 Gen den Therapieerfolg von einzelnen Antidepressiva erhöhten. Patienten, welche an einer bestimmten Position den Genbaustein Cytosin tragen, haben eine 2,5-fach höhere Wahrscheinlichkeit, nach vier- bis sechswöchiger Behandlung mit diesen Antidepressiva wieder gesund zu sein als Nicht-Cytosin-Träger.

Zuvor hatte die Forschungsgruppe um Manfred Uhr an Mäusen bereits nachgewiesen, dass das P-Glykoprotein einzelne Antidepressiva wie Citalopram, Paroxetin, Venlafaxine und Amitriptylin aus dem Gehirn transportiert, andere wie etwa Mirtazapine nicht. Damit wurde erstmals belegt, dass die Funktionalität des P-Glykoproteins die Konzentration einzelner Antidepressiva im Gehirn bestimmt. Die Forscher vermuten, dass die verbesserte Wirkung der Substanzen bei depressiven Patienten mit den identifizierten SNPs im ABCB-1-Gen auf diesem Mechanismus beruht.

Durch Gentests ließen sich eine unwirksame Therapie und deren eventuelle Nebenwirkungen also künftig vermeiden. Sinnvoll wäre es nach Meinung der Wissenschaftler generell zu analysieren, ob im Gehirn wirkende Medikamente vom P-Glykoprotein transportiert werden – und zwar schon bevor sie ihre Wirksamkeit in klinischen Studien beweisen müssen. „Viele Substanzen in der Entwicklung könnten die notwendigen hohen Wirkprofile und geringere Nebenwirkungen zeigen, wenn sie ausschließlich an Patienten getestet würden, die aufgrund ihres Genprofils auf diese Substanzen positiv reagieren können.“ Andernfalls fallen möglicherweise Wirkstoffe durch, die bestimmten Patienten helfen könnten.

Viele Patienten, die unter einer schweren Depression leiden, suchen lange nach einem wirksamen Antidepressivum. Tatsächlich führen die Arzneimittel nach acht bis zwölf Wochen nur bei 60 Prozent der Patienten zu einer vollständigen Heilung. Der Therapieerfolg hängt dabei auch von den genetischen Voraussetzungen ab. So kontrolliert etwa das ABCB-1 Gen, das den Bauplan für einen molekularen Transporter enthält, die Konzentration bestimmter Antidepressiva im Gehirn, wie die Forschergruppe um Manfred Uhr am Max-Planck-Institut für Psychiatrie in München nun herausgefunden hat. „Mit diesen Ergebnissen kommen wir einer personalisierten Therapie der Depression einen Schritt näher“, sagt Florian Holsboer, Direktor am Max-Planck-Institut für Psychiatrie.

Welche Stoffe ins Gehirn gelangen und in welchen Mengen, bestimmt die Blut-Hirn-Schranke. Spezielle Transporter-Moleküle kontrollieren den Zutritt und den aktiven Rücktransport. Das

Antidepressiva im Gehirn bestimmt. Die Forscher vermuten, dass die verbesserte Wirkung der Substanzen bei depressiven Patienten mit den identifizierten SNPs im ABCB-1-Gen auf diesem Mechanismus beruht.

Durch Gentests ließen sich eine unwirksame Therapie und deren eventuelle Nebenwirkungen also künftig vermeiden. Sinnvoll wäre es nach Meinung der Wissenschaftler generell zu analysieren, ob im Gehirn wirkende Medikamente vom P-Glykoprotein transportiert werden – und zwar schon bevor sie ihre Wirksamkeit in klinischen Studien beweisen müssen. „Viele Substanzen in der Entwicklung könnten die notwendigen hohen Wirkprofile und geringere Nebenwirkungen zeigen, wenn sie ausschließlich an Patienten getestet würden, die aufgrund ihres Genprofils auf diese Substanzen positiv reagieren können.“ Andernfalls fallen möglicherweise Wirkstoffe durch, die bestimmten Patienten helfen könnten.

Foto: SPL - AGENCY FOCUS

**Kontakt:**  
**DR. BARBARA MEYER**  
 Referentin für  
 Öffentlichkeitsarbeit  
 Max-Planck-Institut  
 für Psychiatrie  
 Tel.: +49 89  
 30622-616  
 E-Mail: bmeyer@  
 mpipsykl.mpg.de

Die Suche nach einem wirksamen Antidepressivum belastet Patienten oft sehr – Münchner Forscher erleichtern sie jetzt.

# Panorama

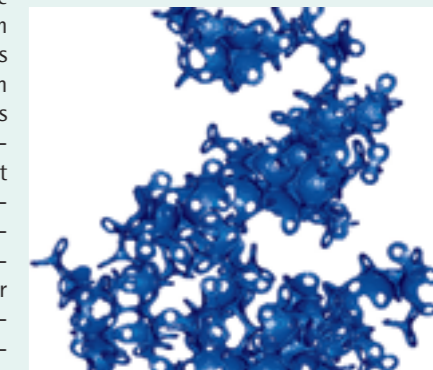
**GALAKTISCHE POSITRONEN**, das heißt positiv geladene Antiteilchen der Elektronen, scheinen überwiegend aus Röntgen-Doppelsternen zu stammen. Das zeigen Messungen von Bord des europäischen Satelliten INTEGRAL, die Wissenschaftler des Garchinger Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik ausgewertet haben. Die Messungen erfassten zum einen die hochenergetische Röntgenstrahlung, die von Röntgen-Doppelsternen ausgeht; zum anderen ging es um Gammastrahlung mit einer Energie von 511 Kilo-Elektronenvolt: Sie entsteht, wenn Positronen und Elektronen aneinandergeraten und sich jeweils paarweise gegenseitig vernichten. Beim Vergleich der Messungen stellten die Physiker fest, dass die Quellen beider Strahlungen innerhalb der Milchstraße ähnlich ungleich verteilt sind: So häufen sich Röntgen-Doppelsterne in der Milchstraßenscheibe westlich des galaktischen Zentrums – und aus ebendieser Region verzeichnete INTEGRAL auch etwa eine doppelt so starke 511-Kilo-Elektronenvoltstrahlung wie aus Gebieten östlich des Zentrums. Diese Übereinstimmung, so die Garchinger Forscher, dürfte kaum zufällig sein – und lässt darauf schließen, dass ein wesentlicher Anteil der Positronen innerhalb der Milchstraße in den turbulenten Wechselwirkungen zwischen den jeweiligen Partnern eines Röntgen-Doppelsternsystems erzeugt wird.

**ALS ZELLULÄRE ALTERNSBREMSE** wirkt bei Mäusen ein Protein aus der Familie der Sirtuine. Diese Proteine sind maßgeblich an der Teilung, Differenzierung oder dem programmierten Tod – Apoptose – von Zellen beteiligt. Und ein Mitglied der Sirtuin-Familie, das Sirt7, fällt dadurch auf, dass seine Expression bei Säugern mit wachsendem Alter stark absinkt. Am Max-Planck-Institut für Herz- und Lungenforschung in Bad Nauheim wurde deshalb untersucht, ob Sirt7 mit dem Fortschreiten von Alterungsprozessen zusammenhängt, und zwar an Knockout-Mäusen, bei denen das Gen für Sirt7 ausgeschaltet war. Tatsächlich entwickelten diese Tiere bereits sehr früh eine alterstypische Herzhypertrophie, verbunden mit einer chronischen Entzündung des Herzmuskels, und isolierte Herzmuskelzellen dieser Mäuse zeigten eine verdoppelte Apoptose-Rate. Weitere Analysen deckten auf, über welchen Weg Sirt7 wirkt: Es inaktiviert ein Apoptose-auslösendes Protein und unterbindet oder hemmt so den programmierten Zelltod. Demnach könnte Sirt7 einen Ansatzpunkt bieten, Alterungsprozesse zu bremsen – indem man versucht, die mit dem Alter sinkende Expression und dadurch verringerte Aktivität dieses Proteins künstlich erhalten.

**SANDBURGEN SIND LUFTSCHLÖSSER** – zumindest aus physikalischer Sicht: Das deckten Forscher des Göttinger Max-Planck-Instituts für Dynamik und Selbstorganisation gemeinsam mit australi-

schen und französischen Kollegen auf, als sie feuchte Granulate aus kleinen Glaskügelchen mittels Röntgen-Mikrotomografie auf ihre interne räumliche Feinstruktur untersuchten. Die Analysen zeigten, dass in einem solchen feuchten Modellsand filigrane, zusammenhängende Gebilde aus benetzten Glaskügelchen neben fein verästelten luftgefüllten Hohlräumen vorliegen. Weil somit innerhalb dieses Gefüges Luft an Wasser grenzt, kommt dessen Oberflächenspannung zum Tragen – also die Kraft, die analog einem äußeren Druck Wassertropfen in eine minimale Hülle und damit in Kugelform zu zwingen trachtet. Das hat zur Folge, dass in den Lufträumen innerhalb des Granulats ein geringfügiger Unterdruck entsteht – der schließlich den Zusammenhalt und die Stabilität des gesamten Gefüges bewirkt. Dieser Effekt, so zeigte sich weiter, wirkt annähernd konstant in einem weiten Bereich von nur wenigen bis an die 30 Prozent Feuchtigkeit. Doch von einer bestimmten Durchnässung an versagt die Haltekraft der Luft fast schlagartig. Dann zerfließen nicht nur Sandburgen, sondern es kommen auch Erdbeben in Fahrt – und mit Blick auf solche oft katastrophalen Ereignisse dürfte sich das tiefere Verständnis feuchter Granulate durchaus lohnen.

**HAUT UND KNOCHEN**, ebenso Knorpel und Zähne sind aus gemeinsamen entwicklungsgeschichtlichen Wurzeln erwachsen. Um den Ursprung des Skeletts der Wirbeltiere aufzuklären, haben Wissenschaftler des Berliner Max-Planck-Instituts für molekulare Genetik mit Hamburger und Tübinger Forschern vergleichende Gen-Analysen an Lanzettfischchen, Schleimaalen und Katzenhaien vorgenommen, die phylogenetisch Vorläufer der Wirbeltiere repräsentieren. Es ging ihnen dabei um drei Entwicklungskontrollgene – mit Runx 1-3 bezeichnet –, die bei Säugern wesentlich die Ausbildung des Skeletts steuern. Bei den sehr ursprünglichen, noch schädellosen Lanzettfischchen wiesen sie lediglich ein einziges der Runx-Gene nach, und zwar im Kiemenbereich, den knorpelige Spangen stabilisieren. Beim kieferlosen Schleimaal, der einen harten und einen weichen Knorpeltyp aufweist, isolierten sie zwei Runx-Gene. Und in der Haut des Katzenhais (eines Knorpelfischs), die mit äußerst widerstandsfähigen, zahnartigen Schuppen bewehrt ist, fanden sie eine hohe Aktivität aller drei Runx-Gene: ein mögliches Indiz dafür, dass knöcherne Substanz während der Evolution zuerst in der Haut entstanden ist und erst später zur Konstruktion verstärkter, knöcherner Skelette verwendet wurde.



Ein filigranes Netz aus Wasser, Sand und Luft stabilisiert Sandburgen.

**www**  
 Mehr zu diesen Themen finden Sie unter [www.maxplanck.de](http://www.maxplanck.de)