



Trügerisches Glück in kleinen Kugeln: Ein Sechser im Lotto ist selten. Und obendrein finanzieren Lottospieler Projekte, von denen sie selbst kaum profitieren.

## GESELLSCHAFTSFORSCHUNG

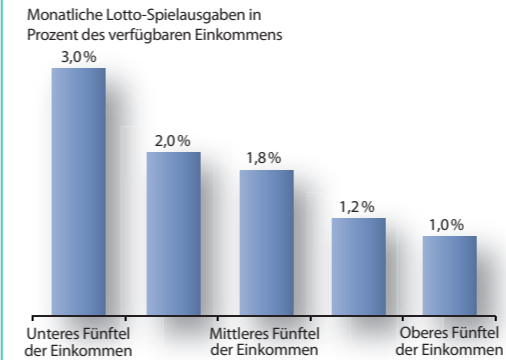
### Sechs Richtige – aber für die Falschen

Wer Lotto spielt, finanziert Angebote wie etwa den Breitensport, Kunst und Kultur – ohne davon selbst zu profitieren. Denn: Nutznießer sind überdurchschnittlich häufig Menschen, die nicht Lotto spielen. Dies hat jetzt eine repräsentative Studie von Jens Beckert und Mark Lutter vom Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung in Köln gezeigt.

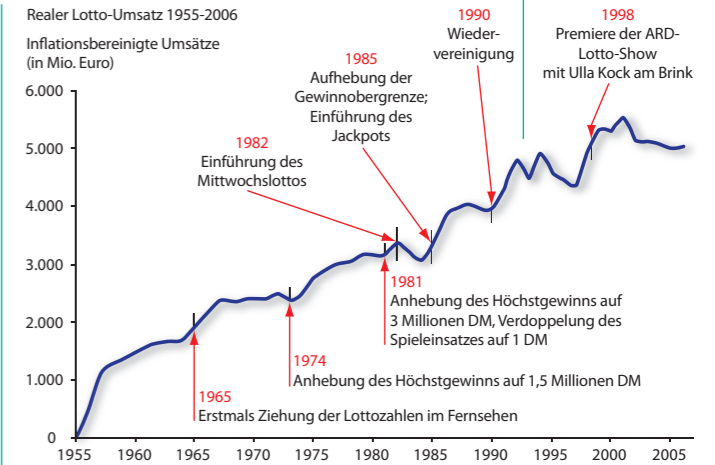
Jede Woche dasselbe Spielchen: Millionen Bundesbürger lauern vor dem Fernseher – um nach erfolgter Ziehung enttäuscht ihren ausgefüllten Lottoschein zu zerknüllen. Wieder nichts ist es geworden mit dem Traumhaus am Starnberger See oder dem schicken Sportflitzer. Wer auf das Glück im Spiel setzt, mag verzweifeln. Nicht nur das: Glücksspiel ist außerdem ungerecht, denn

FOTO: TOGETHER-IMAGES

GRAFIKEN: CHRISTOPH SCHNEIDER NACH VORLAGEN DES MPI FÜR GESELLSCHAFTSFORSCHUNG



Bezieher niedriger Einkommen tragen wesentlich höhere Anteile zu den Steuereinnahmen aus dem Glücksspiel bei als Menschen mit hohen Einkommen.



Quellen: Umsatzdaten entstammen dem Lotto-Toto-Archiv, Münster; Inflationsbereinigung nach Preisindizes des Statistischen Bundesamtes, Wiesbaden; historische Informationen aus „50 Jahre Toto-Lotto Baden-Württemberg“, Staatliche Toto-Lotto GmbH Baden-Württemberg, Verlag Kohlhammer, 1998; 202f.

Das staatliche Lotto verbucht seit der ersten Auspielung im Jahr 1955 eine Steigerung des Umsatzes. Neue Spielelemente haben zu deutlichen Wachstumssprüngen und erhöhten Steuereinnahmen geführt.

staatliche Lotterien verursachen steuerliche Umverteilungen, die einer gerechten Abgabenverteilung widersprechen.

Während die Lottospieler tendenziell aus den unteren Mittelschichten stammen, über geringere Bildung verfügen, höheres Alter aufweisen oder ethnischen Minderheiten angehören, sind die Nutznießer der Lottoförderung deutlich höher gebildet, jüngeren Alters und überwiegend deutscher Staatsangehörigkeit. Eine Umverteilung von unten nach oben findet beim Lottospiel demnach durch die stärkere Spielbeteiligung unterer sozialer Schichten statt. Wie die beiden Kölner Max-Planck-Wissenschaftler Jens Beckert und Mark Lutter in ihrer Studie zeigen konnten, sind Lotterien für untere soziale Schichten attraktiver – was dazu führt, dass Bezieher niedriger Gehälter wesentlich höhere Anteile ihres Einkommens zu den Steuereinnahmen aus dem Glücksspiel beitragen als Menschen mit hohen Einkommen. Lotterien stellen damit eine Form der regressiven Abgabenbelastung dar.

Mit 39 Prozent des Spieleinsatzes sind Lotterien besonders hoch mit Abgaben belastete wirtschaftliche Transaktionen, die erheblich zu den Einnahmen der Länderhaushalte beitragen. Insgesamt beziffern sich die jährlichen Staatseinnahmen aus Glücksspielen, deren Betreibung und Konzessionierung auf etwa fünf Milliarden Euro. Allein die Hälfte davon stammt aus dem Lottospiel. Diese Summe, die größtenteils den Ländern zugute kommt, entspricht einem Anteil von rund 18 Prozent der jährlichen Ländersteuereinnahmen. Insgesamt erzielt der Staat rund 1,1 Prozent seiner Steuereinnahmen aus Glücksspielen – eine erkleckliche Summe. Entspricht dieser Anteil jährlich doch etwa dem Volumen der Grunderwerbssteuer, dem 1,2-Fachen der Erbschaftssteuer oder dem 1,5-Fachen der Einnahmen aus alkoholbezogenen Steuern.

Die Umverteilung durch das Lotteriespiel wird verstärkt durch die Art, wie die Lottereeinnahmen verwendet werden. Rund 20 Prozent der Einnahmen aus den Spieleinsätzen sind für verschie-

dene Wohlfahrtseinrichtungen vorgesehen, die Förderung des Breitensports, aber auch Kunst- und Kulturprojekte wie die finanzielle Unterstützung von Museen oder die Denkmalpflege.

Der Bereich, der von den zweckgebundenen Abgaben am stärksten finanziell subventioniert wird, ist der Breitensport. Am Beispiel des Breitensports haben die Kölner Gesellschaftsforscher gezeigt, dass die Bevölkerungsgruppen, die mit ihren Lottoeinsätzen zu seiner Finanzierung beitragen, keineswegs mit jenen identisch sind, welche die so geschaffenen Angebote nutzen.

Das staatliche Glücksspielmonopol legitimiert sich über den Anspruch, das Glücksspiel einzudämmen. Laut Glücksspielstaatsvertrag soll das gesellschaftliche Gefährdungspotenzial von Glücksspielen auf ein Minimum reduziert werden. Dazu zählt neben der Bekämpfung von Spielsucht vor allem das Angebot selbst, das sich nicht am Prinzip der Gewinnmaximierung orientieren darf. Die Steuereinnahmen sind eine Nebenerscheinung des Monopols. Die Art, wie der Staat sie verwendet, führt zu teils ungerechten Umverteilungseffekten, wie die Kölner Forscher gezeigt haben.

Dem ließe sich beispielsweise entgegenwirken, indem durch eine Senkung des Jackpots auch der Anreiz zum Spielen gesenkt würde. Außerdem könnten mehr als die zurzeit ausgezahlten 48 Prozent der Einsätze wieder als Gewinne an die Spieler ausgeschüttet werden. Soweit staatliche Einnahmen aus dem Lottospiel erwirtschaftet werden, könnten diese gezielt zur Förderung der Bevölkerungsgruppen genutzt werden, die hauptsächlich Lotto spielen. Ein Beispiel hierfür wäre laut Jens Beckert und Mark Lutter die Förderung von Bildungseinrichtungen für sozial benachteiligte Schülerinnen und Schüler.

**© Kontakt:**  
CHRISTEL SCHOMMERTZ,  
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Max-Planck-Institut für Gesellschaftsforschung, Köln  
Tel.: +49 221 2767-130  
Fax: +49 221 2767-430  
E-Mail: info@mpifg.de

ASTRONOMIE

## Galaxienherz durch die Staubbrille

Schwarze Löcher gelten als die Motoren aktiver Galaxien. Sie saugen Gas und Sterne aus ihrer Umgebung ein und sammeln das Material zunächst in der Akkretionsscheibe; aus ihr stammt der größte Strahlungsanteil der Galaxie. Bis vor Kurzem nur in der Theorie belegt, haben Astronomen um Makoto Kishimoto vom Bonner Max-Planck-Institut für Radioastronomie nun erstmals eine solche Scheibe direkt beobachtet. (NATURE, 24. Juli 2008)

Will man ein Foto mit kräftigen Farben schießen oder sich beim Autofahren nicht von spiegelnden Fensterscheiben blenden lassen, greift man vielleicht zu einem Polarisationsfilter. Man setzt ihn vor das Kamera-Objektiv oder als Brille auf die Nase. Nur zur Musterung aktiver Galaxien hat sie bis jetzt noch niemand eingesetzt. Genau diese Idee hatte das internationale Team um Makoto Kishimoto. Mit diesem Trick gelang es jetzt, Quasare – die stark leuchtenden Kernbereiche weit entfernter Milchstraßensysteme – unverfälscht zu beobachten.

Bislang war das nicht möglich, denn die zentralen schwarzen Löcher befinden sich in dichten Staubwolken. Die starke Strahlung dieser Wolken verfälscht das gesuchte Spektrum der Akkretionsscheibe. Das gemessene Lichtspektrum der Strahlung aus dem Kern stimmt auch nicht mit den vorausgerechneten Werten überein.

„Die Astronomen wurden vor allem dadurch irritiert, dass die am besten untersuchten Modelle für die Strahlung der Akkretionsscheiben nicht zu den Beobachtungen passten. Dabei fiel auf, dass

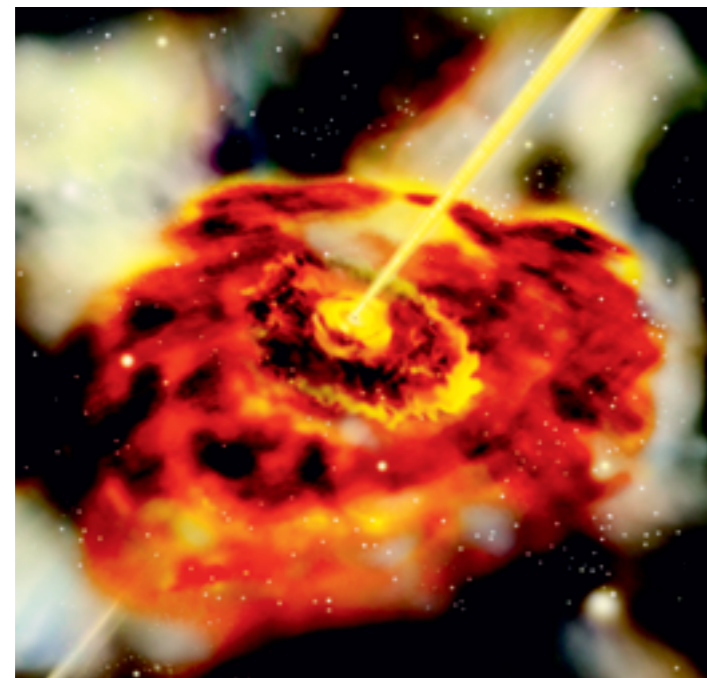
die Scheiben nicht annähernd so blau waren, wie sie theoretisch hätten sein sollen“, erklärt Makoto Kishimoto. Um diesen Gegensatz zu klären, hat Kishimoto zusammen mit weiteren Astronomen aus aller Welt den Anteil der Störstrahlung aus den Staubwolken unterdrückt.

Die Wissenschaftler verwendeten dafür eine besondere Eigenschaft des Lichts: die Polarisation. Denn die Strahlung aus der Akkretionsscheibe wird in der direkten Umgebung der Scheibe gestreut und erscheint daher polarisiert, das heißt, die Lichtwellen schwingen nur in einer Ebene. Die Strahlung aus den Staubwolken weiter weg ist hingegen unpolarisiert, die Lichtwellen schwingen kreuz und quer. Mit dem Polarisationsfilter lassen sich beide Strahlungstypen voneinander trennen und die Astronomen können die wahre spektrale Verteilung der Kernquelle bestimmen.

Für diese Beobachtungen kamen Polarisationsfilter an einigen der größten Fernrohre der Erde zum Einsatz – an einem Spiegel des Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte auf dem Berg Paranal in Chile und am United Kingdom Infrared Telescope auf dem Mauna Kea in Hawaii. Dadurch wurde es möglich, den Beitrag der heißen Staubwolken von außerhalb der Akkretionsscheibe zu unterdrücken und zu zeigen, dass die spektrale Verteilung der Strahlung aus der Akkretionsscheibe selbst tatsächlich so blau ist wie von der Theorie gefordert.

Robert Antonucci von der University of California at Santa Barbara ist ebenfalls an dem Forschungsprojekt beteiligt: „Unser Verständnis der physikalischen Prozesse in der Akkretionsscheibe ist noch sehr unvollkommen“, sagt er. „Aber zumindest haben wir jetzt eine zuverlässige Vorstellung des Gesamtbilds.“

Die Beobachtungsdaten weisen darauf hin, dass die gemessene Strahlung aus den äußeren Bereichen der Akkretionsscheibe stammt. Wichtige Fragen bleiben allerdings offen, etwa: Wie und wo endet das Gebiet der Akkretionsscheibe? Wie wird Material dorthin nachgeliefert? „Unsere neue Methode sollte es bereits in naher Zukunft erstmals ermöglichen, darauf Antworten zu finden“, gibt sich Makoto Kishimoto zuversichtlich.



Kraftwerk im Zentrum: Die künstlerische Darstellung zeigt das Herz einer aktiven Galaxie. Das sehr massereiche schwarze Loch ist umgeben von einer Akkretionsscheibe und Staubwolken. Senkrecht zur Scheibe wird Energie in Form von Jets abgestrahlt.

BILD: NASA/E/PO – SONOMA STATE UNIVERSITY, AURORE SIMONNET



**Kontakt:**  
**DR. MAKOTO KISHIMOTO**  
 Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn  
 Tel.: +49-228-525-186  
 Fax: +49-228-525-229  
 E-Mail: [mk@mpifr-bonn.mpg.de](mailto:mk@mpifr-bonn.mpg.de)

**DR. NORBERT JUNKES**,  
 Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
 Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn  
 Tel.: +49-228-525-399  
 Fax: +49-228-525-438  
 E-Mail: [njunkes@mpifr-bonn.mpg.de](mailto:njunkes@mpifr-bonn.mpg.de)



ORNITHOLOGIE

## Zugvögel leiden unter Klimawandel

Veränderte Tageslichtbedingungen lösen beim Trauerschnäpper eine drastische Verfrühung des Beginns des Zuges und der Paarungsbereitschaft aus. Das haben Tim Coppack vom Max-Planck-Institut für Ornithologie und ein internationales Team herausgefunden. Die Forscher testeten, wie flexibel die in Afrika überwinternden Zugvögel auf eine klimatisch bedingte Verschiebung ihrer Überwinterungsgebiete in Richtung Norden reagieren würden. (GLOBAL CHANGE BIOLOGY 14/2008)

Die sich im Jahresverlauf ändernde Tageslänge dient nicht nur Trauerschnäppern, sondern auch vielen anderen Organismen als Richtgröße, nach der sie ihre Lebenszyklen mit dem Lauf der Jahreszeiten synchronisieren. Sich rasch ändernde Klimabedingungen können aber dazu führen, dass diese lichtabhängigen Organismen aus dem Takt geraten. Eine klimabedingte Verschiebung ihrer Lebensräume wirkt sich somit drastisch auf die Zeitplanung und Überlebensfähigkeit aus.

Eine Möglichkeit, zunehmend unpassenden Lebensbedingungen zu entkommen, bestünde darin, auf andere, weiter nördlich gelegene Überwinterungsgebiete auszuweichen. Da sich damit aber auch die jahreszeitlich bestimmten Tageslängen verändern, müssten die Tiere gleichzeitig flexibel auf ein breites Spektrum von Tageslichtbedingungen reagieren.

Von Hand aufgezogene Trauerschnäpper wurden während ihres ersten Lebensjahres unter Tageslichtbedingungen gehalten, die jeweils fünf mögliche Überwinterungsgebiete zwischen Zentralafri-

ka und Mitteleuropa simulierten. Damit wollten Tim Coppack vom Max-Planck-Institut für Ornithologie und seine Kollegen testen, ob und wie die Jahresperiodik dieses Zugvogels beeinflusst wird. Die Forscher fanden heraus, dass bereits bei einer Verlagerung des Überwinterungsgebiets von der afrikanischen Elfenbeinküste in die Sahelzone der Zugbeginn früher einsetzt und die Vögel fast einen Monat früher paarungsbereit sind – allein auf der Grundlage der veränderten Tageslichtbedingungen.

Die Trauerschnäpper, die 1100 Kilometer weniger weit über die Sahara hätten ziehen müssen – diese Situation wird im Experiment von Coppack simuliert –, wären daher deutlich früher in nördlichen Brutgebieten angekommen. „Solch eine Reaktion wäre vielleicht von Vorteil, da sich durch den zunehmend früher einsetzenden Frühling auch die saisonale Verfügbarkeit von Insekten für die Jungenaufzucht nach vorne verlagert“, sagt Tim Coppack.

Allerdings verschlechtern sich die Lebensbedingungen aufgrund des Klimawandels auch in der Sahelzone für dort überwinternde, Insekten fressende Singvögel. Damit ist aber für Trauerschnäpper und andere Langstreckenzieher die Möglichkeit eingeschränkt, ihre Zugstrecke tatsächlich graduell zu verkürzen, um auf diese Weise früher am Brutplatz einzutreffen und so ein besseres Nahrungsangebot zu haben. Erschwerend kommt hinzu, dass sich die Tageslichtdauer in Äquatornähe im Jahresverlauf nur wenig ändert. Die Vögel werden dort daher nicht ausreichend stimuliert, verharren in der Wintermauser und treten den Heimzug in die Brutgebiete erst gar nicht an.

Bei Trauerschnäppern, die während ihres ersten Lebensjahres unter veränderten Tageslichtbedingungen gehalten wurden, setzten Zugbeginn und Paarungsbereitschaft deutlich früher ein.



**Kontakt:**  
**DR. TIMOTHY COPPACK**  
 Zoologisches Museum, Universität Zürich-Irchel  
 Tel.: +41 44 635-4972  
 Fax: +41 44 635-4780  
 E-Mail: [coppack@access.uzh.ch](mailto:coppack@access.uzh.ch)

**DR. SABINE SPEHN**,  
 Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
 Max-Planck-Institut für Ornithologie, Seewiesen  
 Tel.: +49 8157 932-421  
 Fax: +49 8157 932-344  
 E-Mail: [sspehn@orn.mpg.de](mailto:sspehn@orn.mpg.de)

FOTO: MPI FÜR ORNITHOLOGIE – ROEMHILD

MIKROSTRUKTURPHYSIK

## Zwerge schaffen Riesenspeicher

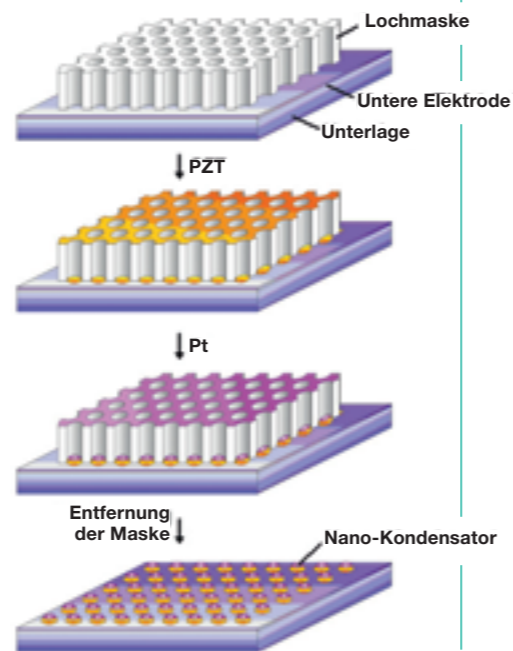
Immer kleiner und leichter, aber auch schneller und leistungstärker soll die Elektronik von morgen sein. Eine Methode, die Forscher des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik, der Pohang University of Science and Technology (POSTECH) in Korea und des Korea Research Institute of Standards and Science (KRISS) jetzt entwickelt haben, könnte dabei helfen. Das neue Verfahren ermöglicht die Produktion besonders dicht gepackter Datenspeicher. (NATURE NANOTECHNOLOGY ADVANCE ONLINE PUBLICATION, 15. Juni 2008)

„Solche nichtflüchtigen Speicher könnten mit unserer Methode womöglich besonders einfach und effizient hergestellt werden“, sagt Dietrich Hesse, der als Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Mikrostrukturphysik in Halle an den Arbeiten des Teams maßgeblich beteiligt war. Das Team hatte mithilfe einer extrem fein perforierten Maske Kondensatoren aus Platin und Blei-Zirkonat-Titanat (PZT) mit einer Dichte von 176 Milliarden Stück auf einem Quadratzoll untergebracht – Weltrekord für dieses Material.

So hohe Speicherdichten sind eine Voraussetzung, damit permanente Speicher breitere Anwendung finden. Sie könnten etwa die Festplatte und das lästige Booten im PC überflüssig machen. Für den Einsatz als Speicher erfüllen die Nano-Kondensatoren noch eine weitere Bedingung: Jeden Speicherpunkt können die Wissenschaftler gezielt ansteuern, obwohl sie nur gut 60 Nanometer (millionstel Millimeter) Abstand voneinander haben.

Ihre besonderen Eigenschaften verdanken die Speicher nicht nur der präzisen Herstellung, sondern auch dem Prinzip, nach dem sie arbeiten: Das keramische Material Blei-Zirkonat-Titanat gehört zu den Ferroelektrika. In solchen Materialien gibt es in allen Elementarzellen, den kleinsten Baueinheiten eines Kristalls, permanente elektrische Dipole. Diese lassen sich mit den magnetischen Dipolen im Eisen vergleichen. Wie der Nord- und Südpol eines Magneten lassen sich der positive und negative Pol eines permanenten elektrischen Dipols gezielt vertauschen. Daher können diese Stoffe Daten dauerhaft speichern wie eine Festplatte, aber so schnell mit ihnen operieren wie ein Arbeitsspeicher.

Um aus diesem ferroelektrischen Material 176 Milliarden Kondensatoren auf einem Quadratzoll aufzubauen, haben die Wissenschaftler zunächst eine rund 100 Nanometer dünne Schablone aus Aluminiumoxid hergestellt, die entsprechend löchrig ist. Zu diesem Zweck oxidierten sie einen Aluminiumfilm elektrochemisch. Indem die Forscher bei der Oxidation sorgfältig die Temperatur,



**Kondensatoren in der Maske:** Durch eine nur rund 100 Nanometer dünne Schablone aus Aluminiumoxid (oben) lässt das deutsch-koreanische Forscherteam erst die Bestandteile der Keramik (PZT) auf die Platinschicht (Pt) rieseln. Anschließend scheiden die Wissenschaftler noch ein wenig Platin ab, um einen elektrischen Kontakt zur Keramik herzustellen.

den pH-Wert und die chemische Zusammensetzung wählten, zwangen sie die Poren in eine sechseckige Anordnung, in der jede Pore von sechs anderen umgeben ist. Das Muster war allerdings an einigen Stellen ein wenig verzerrt, was sie als Schablone für Datenspeicher unbrauchbar machte. „Wenn wir das Aluminium mit einem Stempel vorstrukturieren, ordnen sich die Poren aber völlig regelmäßig an“, sagt Woo Lee vom KRISS.

Mit der fein perforierten Maske ist die Sache aber noch nicht erledigt. Die Schablone legen die Hallenser Wissenschaftler auf ein 650 Grad Celsius heißes Plättchen aus Magnesiumoxid, das mit Platin beschichtet ist und als Träger dient. Anschließend verdampfen sie mit einem Laserstrahl in genau austariertem Verhältnis PZT, bis sich die Keramik 30 bis 50 Nanometer dick auf dem Platin niedergeschlagen hat. Ein dünner Deckel aus Platin komplettiert den Kondensator, in dem die beiden Edelmetallschichten als Elektroden und die Keramik als Dielektrikum dienen.

„Diese Arbeit zeigt, dass auch ganz unkonventionelle und bisher nicht beachtete Herstellungsmethoden aus Nachbargebieten der Elektronikforschung einen wesentlichen Fortschritt bei der Suche nach Konzepten für hochdichte Festkörperspeicher bringen können“, sagt Ulrich Gösele, Direktor am Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik.

GRAFIK: MPI FÜR MIKROSTRUKTURPHYSIK

**© Kontakt:**  
**PROF. DR.**  
**DIETRICH HESSE**  
**Max-Planck-Institut**  
**für Mikrostruktur-**  
**physik, Halle (Saale)**  
**Tel.: +49 345**  
**5582-741**  
**Fax: +49 345**  
**5511-223**  
**E-Mail: hesse@**  
**mpi-halle.de**

NEUROBIOLOGIE

## Kalzium kommt vor dem Denken

Kontakte zwischen Nervenzellen werden kontinuierlich auf- und wieder abgebaut. Dabei ermitteln die Zellen sehr schnell, welche Verbindungen sinnvoll sind und welche nicht. Wie aber geschieht das? Christian Lohmann und Tobias Bonhoeffer vom Max-Planck-Institut für Neurobiologie in Martinsried haben nun eine Technik beschrieben, mit der Nervenzellen sehr zeit- und energiesparend die Qualität kontaktierter Partner abschätzen können. (NEURON, 31. Juli 2008)

Das menschliche Gehirn besteht aus hundert Milliarden Nervenzellen. Mehr noch: Jede dieser Zellen ist über viele tausend Kontaktstellen mit ihren Nachbarzellen verbunden. Während der Entwicklung müssen junge Nervenzellen mit den richtigen Partnerzellen in Kontakt treten, damit das Gehirn seine komplexen Aufgaben erfüllen kann. Doch auch im Erwachsenenalter werden Kontakte zwischen Nervenzellen ständig auf- und wieder abgebaut. Erst dieser kontinuierliche Umbau des Gehirns ermöglicht es uns, zu lernen oder zu vergessen.

Der Auf- und Umbau des Gehirns verschlingt viel Energie. Nicht umsonst ist das Gehirn das Organ mit dem höchsten Energieverbrauch. Denn sowohl junge als auch erwachsene Nervenzellen lassen bei der Kontaktsuche viele hundert Zell-

Anscheinend können Nervenzellen also auch ohne Synapsen Informationen über ihre Nachbarn einholen. Wie sie das schaffen, haben nun die beiden Neurobiologen Christian Lohmann und Tobias Bonhoeffer geklärt. Sie markierten einzelne Nervenzellen mit Fluoreszenzfarbstoffen und beobachteten sie unter einem speziellen Mikroskop. So fanden sie das Geheimnis des Informationsaustauschs: Lokale Kalzium-Signale übermitteln den Zellen schnell alle nötigen Informationen. Erst wenn Zelle und Kontaktstelle für einen langfristigen Kontakt geeignet sind, wird auch tatsächlich eine Synapse ausgebaut.

Wie funktioniert das konkret? Trifft ein auswachsender Fortsatz auf eine Nachbarzelle, so löst dies eine Kalzium-Ausschüttung an der Basis des Fortsatzes aus. Dieses Kalzium-Signal kann dann wie ein Stoppschild funktionieren: Der Fortsatz stellt sein Wachstum sofort ein. Gleichzeitig enthält dieses Signal bereits alle wichtigen Informationen über die Qualität des neuen Kontakts. Denn nur wenn das Kalzium-Signal deutlich höher ist als der umgebende Kalzium-Spiegel der Zelle, bleibt der Kontakt bestehen. Ansonsten zieht sich der Fortsatz zurück und die Nervenzelle sucht an anderer Stelle nach einer geeigneten Partnerzelle.

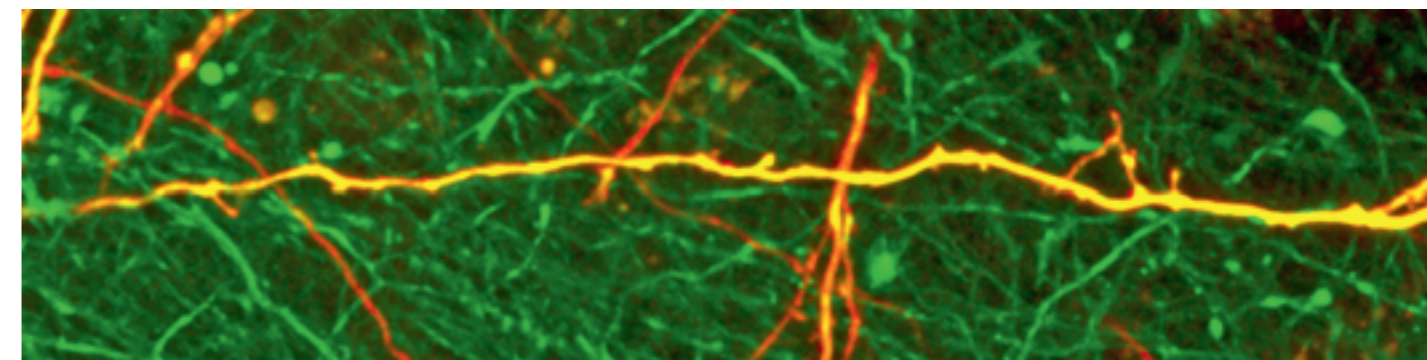


BILD: MPI FÜR NEUROBIOLOGIE - LOHMANN

fortsätze auf ihre Nachbarzellen zuwachsen. Kommt es zum Zellkontakt, müssen Informationen über den Wert der Verbindung ausgetauscht werden: Passen die Zellen nicht optimal zusammen, wird der Fortsatz nach wenigen Sekunden bis Minuten wieder abgebaut.

Bisher nahm man an, dass Nervenzellen Informationen nur über spezielle Kontaktstellen, die Synapsen, austauschen können. Es dauert jedoch bis zu zwei Tage, bevor eine Synapse funktionsfähig ist – verschwendete Zeit und Energie, wenn der Kontakt wieder abgebaut wird. Die Entwicklung des Gehirns könnte fast 1000 Jahre in Anspruch nehmen, wenn an jedem Zellkontakt erst eine Synapse reifen müsste.

**Ständig wechselnde Zellkontakte ermöglichen das Denken. Warum dieser Vorgang keine Stunden dauert, klärten nun Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Neurobiologie.**



**© Kontakt:**  
**DR. STEFANIE MERKER,**  
**Presse- und Öffentlichkeitsarbeit**  
**Max-Planck-Institut**  
**für Neurobiologie,**  
**Martinsried**  
**Tel.: +49 89**  
**8578-3514**  
**Fax: +49 89**  
**8578-3541**  
**E-Mail: Merker@**  
**neuro.mpg.de**

QUANTENPHYSIK

## Gesellige Teilchen auf dem Egotrip

In der Quantenwelt schlüpfen Teilchen in alle möglichen Rollen. Forscher am Max-Planck-Institut für Quantenoptik haben jetzt im Experiment ein weiteres erstaunliches Verhalten provoziert: So verharren zerbrechliche Moleküle wie eingefroren an ihrem Platz und vermeiden dadurch Zusammenstöße untereinander, die sie zerstören würden. Dabei verhalten sich die Moleküle wie die sogenannten Fermionen – obwohl sie zur Familie der Bosonen gehören. (SCIENCE, 6. Juni 2008)

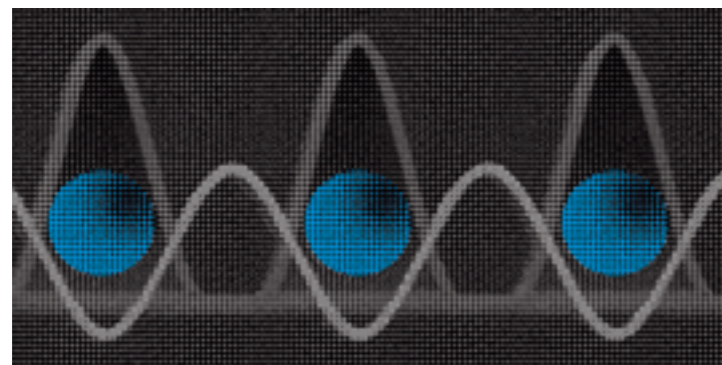
aus der Wirtschaft geworfen. Und das, obwohl sie doch eigentlich so gesellig sind.

Im Experiment des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik ist etwas Ähnliches passiert – mit bosonischen Molekülen. Anstatt sich frei zu bewegen, wie es ihrer Natur entspricht, halten sie Abstand voneinander. Sie legen also genau das Verhalten von Fermionen an den Tag. Dadurch retten sie sich vor der gegenseitigen Zerstörung: Würden sich die fragilen Moleküle heftig bewegen, stießen sie immer wieder zusammen und zerfielen.

Beobachtet haben die Physiker den Effekt bei Rubidium-Molekülen, die zu den Bosonen zählen. Diese werden dazu in ein dreidimensionales optisches Gitter verteilt. Das Gitter ist eine Art Kristall aus Licht, das von überlagerten stehenden Lichtwellen aus allen drei Raumrichtungen erzeugt wird. Das entstehende Laserlichtfeld ähnelt in seiner Form einem Stapel von Eierkartons, in dessen einzelnen Mulden sich jeweils genau ein Molekül niederlässt. Die Mulden sind zunächst so tief, dass die Moleküle darin gefangen sind und nicht auf Nachbarplätze abwandern können.

Was aber passiert, wenn das Lasergitter direkt im Anschluss daran so verändert wird, dass es die Form eines Stapels von Wellblechen annimmt? Die Moleküle sitzen nun perlenkettenförmig aufgereiht in einer Art Rinne und haben prinzipiell die Möglichkeit, sich in einer Dimension – entlang der Rinne – zu bewegen. Man könnte also erwarten, dass die Moleküle nun mit ihren Nachbarn zusammenstoßen und aufgrund ihrer fragilen Bauart dabei zerstört werden. Die Bindungsenergie, die dabei frei wird, reicht aus, um die zusammenstoßenden Moleküle aus der Rinne zu katapultieren und damit aus dem Beobachtungsfeld verschwinden zu lassen. Die Moleküle im Gitter werden rapide weniger.

Im Experiment rühren sich die Teilchen kaum noch vom Fleck und stoßen deutlich seltener zusammen als unabhängige Teilchen. Offenbar beeinflussen sie sich also gegenseitig. „Eigentlich kann man sich die Moleküle wie fragile Seifenblasen vorstellen“, erklärt Dominik Bauer, Zweitautor der Veröffentlichung. „Wenn sie mit einem Nachbarn zusammenstießen, würden beide zerfallen. Da die Moleküle aber von der Quantenmechanik beherrscht werden, tun sie dies nicht.“



Rubidium-Moleküle (blau) werden in einem periodischen Potenzial festgehalten. Wird das Potenzial entfernt, so würden die Moleküle sich normalerweise frei bewegen. Um sich nicht gegenseitig zu zerstören, bleiben die Moleküle jedoch in ihrem Anfangszustand eingefroren.

Der Unterschied zwischen Fermionen und Bosonen lässt sich mit zwei Typen von Kneipenbesuchern veranschaulichen: Die einen hocken in Grüppchen zusammen, fachsimpeln lautstark über Fußball oder spielen Karten. Die anderen steuern zielsicher auf den letzten leeren Tisch zu. Etwa so wie die geselligen Leute verhalten sich die Bosonen, während Fermionen den Eigenbrötler gleichen.

Genau wie sich die Kartenspieler gerne zusammensetzen, so nehmen Bosonen bei sehr tiefen Temperaturen am liebsten gleiche Quantenzustände ein. Im Extremfall bilden sie ein Bose-Einstein-Kondensat, in dem etwa 100 000 Teilchen zu einem Riesenatom verschmelzen. Alle Einzelatome darin besitzen dieselben Quanteneigenschaften, sind in ihrem Aufenthaltsort aber vergleichsweise unabhängig von den anderen. Fermionen in einem abgeschlossenen System müssen sich dagegen jeweils in mindestens einer Quantenzahl voneinander unterscheiden. Ihr Zustand hängt deshalb stark von den Quantenzahlen der anderen Fermionen ab. Im Bild der Kneipe: Da sich die Eigenbrötler immer nur an leere Tische setzen, müssen sie sich nach den Sitzplätzen der anderen Kneipenbesucher richten.

Man stelle sich vor, einer der kontaktfreudigen Besucher hätte beim Kartenspielen gemogelt. Keiner will's gewesen sein und beleidigt setzen sich alle an Einzeltische. Sie tun das aus Selbstschutz, denn kämen sie sich zu nahe, hätten sie in kürzester Zeit großen Krach und würden vermutlich bald

BILD: MPI FÜR QUANTENOPTIK

**Kontakt:**  
DIPL. PHYS.  
DOMINIK BAUER  
Max-Planck-Institut  
für Quantenoptik,  
Garching  
Tel.: +49 89  
32905-379  
Fax: +49 89  
32905-395  
E-Mail: dominik.bauer@mpq.mpg.de

DR. OLIVIA MEYER-STRENG, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit  
Max-Planck-Institut  
für Quantenoptik,  
Garching  
Tel.: +49 89  
32905-213  
Fax: +49 89  
32905-200  
E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

# Panorama

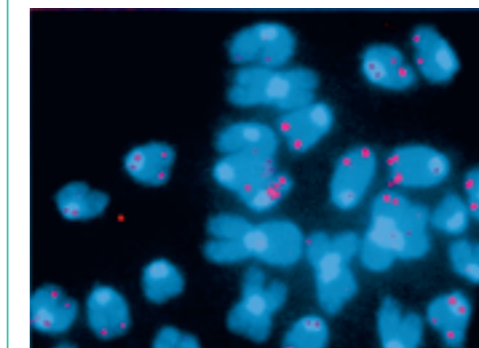
WAS AUF KOSMISCHEN SKALEN abläuft, macht sich auf der Erde oft nur als Winzigkeit bemerkbar. Deshalb können Astronomen derzeit nicht 100-prozentig sagen, ob sich das Universum immer schneller ausdehnt; auch der Nachweis von Planeten, die um andere Sterne kreisen, erfolgt weitgehend indirekt. Ein internationales Forscherteam um Mitarbeiter des Münchener Max-Planck-Instituts für Quantenoptik hat jetzt ein Messprinzip erprobt, das solche Beobachtungen ermöglichen soll. Um die Farbe des Lichts von Himmelskörpern extrem genau zu ermitteln, nutzen die Wissenschaftler einen Frequenzkamm: In ihm reihen sich Spektrallinien aneinander, deren Farben sich sehr präzise bestimmen lassen. Diese Linien vergleichen die Physiker dann mit den Linien in den Spektren astronomischer Quellen. So wollen sie künftig Geschwindigkeitsänderungen von Himmelskörpern auf einen Zentimeter pro Sekunde genau ermitteln. Damit wäre ihre Methode etwa 1000-mal empfindlicher als derzeit verfügbare Verfahren und würde sowohl die Suche nach erdähnlichen Planeten erleichtern als auch die beschleunigte Ausdehnung des Alls schlüssig belegen.

AUSBRÜCHE DER SONNE, sogenannte Eruptionen, kündigen sich bereits einige Tage vorher in Schwankungen des lokalen Magnetfelds in der Sonnenatmosphäre an. Zu diesem Befund kamen Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau, indem sie erstmals Magnetfeld-Anomalien im Vorfeld einer Eruption sowie deren Ablauf im Detail analysierten. Sie fanden heraus, dass sich vor einer Eruption über mehrere Tage hinweg lokal Energie im Magnetfeld der Korona – der äußeren Sonnenatmosphäre – anreichert und dort in starken elektrischen Strömen gespeichert wird. Diese Energie entlädt sich dann in der Eruption und wird dabei zum einen in Bewegungsenergie der ausgeschleuderten Teilchen, zum anderen in Strahlung umgesetzt. Nach dieser Entladung zeigt das örtliche Magnetfeld eine niedrigere Energie und schwächere elektrische Ströme – während die im Zug der Eruption über Teilchen und Strahlung freigesetzte Energie in der Erdatmosphäre magnetische Stürme auslöst und Stromausfälle bewirken sowie Satelliten beschädigen kann.

DAS BIOLOGISCHE ALTER eines Menschen lässt sich möglicherweise an einer Gruppe von Proteinen ablesen, die im Blut zirkulieren. Auf diese Biomarker stießen Wissenschaftler der Max-Planck-Forschungsgruppe für Stammzellalterung in Ulm im Rahmen von Untersuchungen an sogenannten Telomeren, den Endstücken menschlicher Chromosomen. Diese Telomere stabilisieren und schützen die Chromosomen vor schädigenden Einflüssen – verkürzen sich aber bei jeder Teilung einer

Zelle und verlieren deshalb während der Alterung des Menschen ihre Schutzfunktion: Die Chromosomen werden instabil, bei der Zellteilung schleichen sich von Mal zu Mal mehr Fehler ein, bis sie schließlich zum Erliegen kommt. Wie sich nun zeigte, treten parallel mit der Verkürzung der Telomere in den Zellen auch bestimmte Markerproteine auf. Und diese Proteine finden sich dann auch im menschlichen Blut: Dort steigt ihre Konzentration mit dem Alter sowie bei altersbedingten Krankheiten deutlich an. Anhand dieser Marker, so die Hoffnung, könnte die medizinische Behandlung älterer Menschen individuell auf deren biologisches Alter abgestimmt werden. Möglicherweise lässt sich mit ihrer Hilfe auch prüfen, ob und inwieweit bestimmte Verhaltensweisen, Nahrungsmittel und Therapien das (biologische) Altern verzögern.

DIE RÜCKPROGRAMMIERUNG körpereigener Zellen zu embryonalen Stammzellen: Diesem Traumziel der medizinischen Grundlagenforschung sind Wissenschaftler am Max-Planck-Institut für molekulare Biomedizin in Münster einen wichtigen Schritt nähergekommen. Sie schafften es, neurale Stammzellen aus dem Gehirn erwachsener Mäuse



mit nur zwei eingeschleusten Genen in ihren embryonalen Urzustand zurückzusetzen. Bisher waren für eine solche Reprogrammierung mindestens vier Gene erforderlich. Zwar lassen sich neurale Stammzellen beim Menschen nur schwer isolieren und kommen deshalb für künftige therapeutische Zwecke kaum in Frage. Doch ermöglichen die an ihnen gewonnenen Erkenntnisse jetzt die gezielte Suche nach anderen Zelltypen, die sich ähnlich leicht embryonalisieren, aber einfacher gewinnen lassen. Zudem wollen die Forscher mithilfe der neuralen Stammzellen zu Wirkstoffen kommen, die anstelle eingeschleuster Gene eine Rückprogrammierung auslösen. Ein solches Molekül haben sie bereits aufgespürt, und sie sind optimistisch, dass dem noch weitere folgen: Dann würde man von Viren unabhängig, die bisher als „Fähren“ für die Einschleusung der Gene notwendig sind – die aber in den reprogrammierten Zellen möglicherweise Unheil anrichten, indem sie dort Tumorgene anschalten.

Die Telomere (rot angefärbt) bilden die Endstücke der Chromosomen. Wenn der Mensch altert, verkürzen sie sich. Einzelne Chromosomenenden zeigen schließlich einen kompletten Verlust – die Zellen verlieren ihre Teilungsfähigkeit.

www  
Mehr zu diesen Themen finden Sie unter www.maxplanck.de

FOTO: K. LEINHARD RUDOLPH