

# Aus der Forschung der Max-Planck-Gesellschaft

## Research insights from the Max Planck Society

Seite **52**  
**FORSCHUNGS-HIGHLIGHT**  
Der Kosmos bebt

Seite **56**  
**LESEPROBEN**  
aus dem Jahrbuch

### FORSCHUNGS-AUSBLICK

Seite **60**  
Martin Wikelski  
Erdbeobachtung durch Tiere

Seite **67**  
Dominique Elser, Christoph Marquardt,  
Gerd Leuchs  
Quanten-Engineering mit  
optischer Technologie

Seite **77**  
Ulrich Becker  
Europäische Solidarität für Flüchtlinge?

Seite **86**  
**TECHNOLOGIETRANSFER**

Page **52**  
**RESEARCH HIGHLIGHT**  
The Quaking Cosmos

Page **56**  
**EXTRACTS**  
from the Yearbook

### RESEARCH OUTLOOK

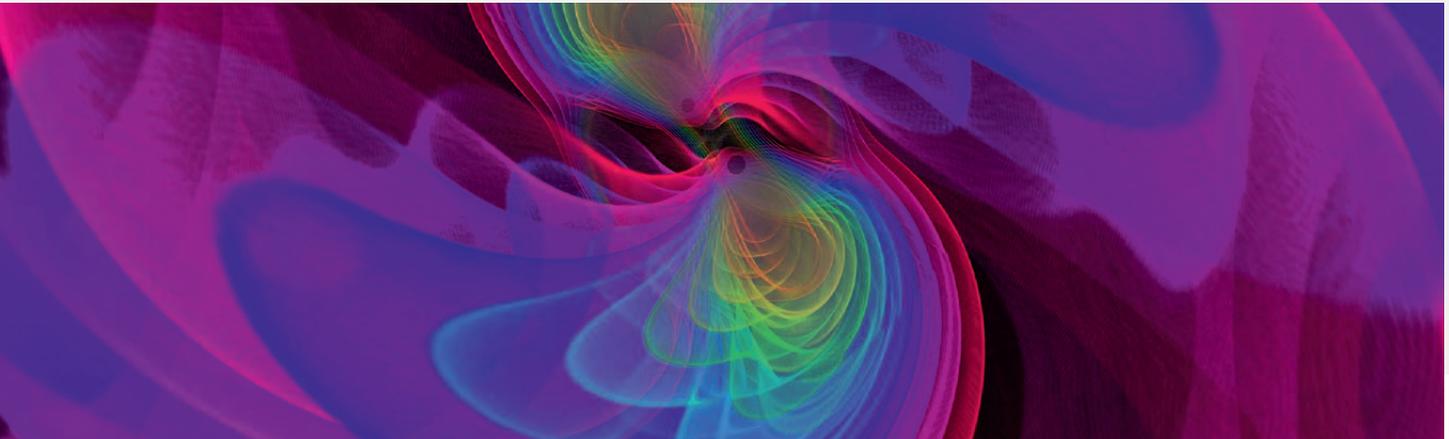
Page **60**  
Martin Wikelski  
Observing the Earth through animals

Page **67**  
Dominique Elser, Christoph Marquardt,  
Gerd Leuchs  
Quantum engineering with  
optical technology

Page **77**  
Ulrich Becker  
European solidarity with refugees?

Page **86**  
**TECHNOLOGY TRANSFER**

## Der Kosmos bebt The Quaking Cosmos



Albert Einstein hatte recht: Gravitationswellen existieren wirklich. Am 14. September 2015 gingen sie ins Netz. Das wiederum hätte Einstein verblüfft, glaubte er doch, sie seien zu schwach, um jemals gemessen zu werden. Umso größer war die Freude der Forscher – insbesondere jener am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, das an der Entdeckung maßgeblich beteiligt war.

An jenem denkwürdigen Montag im September 2015 zeigt die Uhr in Hannover 11:51 an, als Marco Drago am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik das Signal als Erster sieht. Für etwa eine Viertelsekunde ist die Gravitationswelle durch zwei Detektoren namens Advanced LIGO geschwappt. Die Anlagen stehen Tausende Kilometer entfernt in den USA, eine in Hanford (Bundesstaat Washington), die andere in Livingston (Louisiana).

Drago glaubt zunächst an ein Signal, das absichtlich eingestreut wurde, um die Reaktion der Wissenschaftler zu testen. Das ist in der Vergangenheit immer wieder einmal vorgekommen. Doch Advanced LIGO läuft noch gar nicht im regulären Betrieb. So informiert Drago seinen Kollegen Andy Lundgren. Beide sind sich einig: Die Kurve sieht perfekt aus, das Signal scheint echt zu sein. Die Max-Planck-Forscher ahnen, dass sie eben Zeugen eines historischen Augenblicks geworden sind.

Mit der Entdeckung erreicht die Geschichte der Gravitation ihren vorläufigen Höhepunkt, die Allgemeine Relativitätstheorie hat jetzt mit Bravour ihren letzten Test bestanden. Zudem stößt die Messung ein neues Beobachtungsfenster auf. Denn nahezu 99 Prozent des Universums liegen im Dunkeln,

Albert Einstein was right: gravitational waves really do exist. They were detected on September 14, 2015. This, on the other hand, would have surprised Einstein, as he believed they were too weak to ever be measured. The researchers were therefore all the more delighted – particularly those at the Max Planck Institute for Gravitational Physics, which played a major role in the discovery.

On that memorable Monday in September 2015, the clock in Hanover stood at 11:51 a.m. when Marco Drago at the Max Planck Institute for Gravitational Physics first saw the signal. For around a quarter of a second, the gravitational wave rippled through two detectors known as Advanced LIGO. The installations are located thousands of kilometers away in the US, one in Hanford, Washington, the other in Livingston, Louisiana.

Drago initially thought the signal had been slipped in deliberately to test the scientists' response, as has happened many a time in the past. But Advanced LIGO wasn't even in regular operation yet, so Drago informed his colleague Andy Lundgren. Both agreed: the curve looked perfect; the signal appeared to be real. The Max Planck researchers had an inkling that they had just become witnesses to a historic moment.

The discovery represents the current pinnacle of the history of gravitation – the general theory of relativity has now passed its final test with flying colors. In addition, the measurement opens up a new window of observation, as almost 99 percent of the universe is in the dark – that is, it doesn't emit any electromagnetic radiation. With gravitational waves, in contrast, it will be possible for the first time to investigate

senden also keine elektromagnetische Strahlung aus. Mit Gravitationswellen hingegen lassen sich kosmische Objekte wie schwarze Löcher erstmals im Detail untersuchen. Und selbst bis fast zum Urknall zurück werden die Forscher in Zukunft „hören“ können.

Was aber hat es mit den Wellen aus dem Weltall auf sich? Die Wurzeln moderner Gravitationsforschung liegen in der Schweiz. Dort denkt im Jahr 1907 am Berner Patentamt ein „Experte II. Klasse“ intensiv über die Schwerkraft nach: Albert Einstein. Er simuliert Schwerkraft mit Beschleunigung. Denn auch die Beschleunigung erzeugt Kräfte, wie sie etwa in einem schnell anfahrenen Lift auftreten. Wäre dessen Kabine schall- und lichtdicht, könnten die Fahrgäste glauben, die Anziehungskraft der Erde habe plötzlich zugenommen.

Die Erkenntnis, dass Gravitation zumindest teilweise eine Frage des Bezugssystems ist, führt Albert Einstein zu revolutionären Ideen, die er nach achtjähriger Arbeit im Herbst 1915 in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie vorstellt. Diese ist letztlich eine Feldtheorie. In ihr führt die beschleunigte Bewegung von Massen zu Störungen, die sich lichtschnell durch den Raum bewegen – Gravitationswellen.

Wer etwa auf dem Trampolin auf und ab hüpfet, verliert Energie und schlägt in der Raumzeit solche Wellen. Sie sind unmessbar klein, denn ein Mensch hat eine geringe Masse und hüpfet vergleichsweise langsam. Im All dagegen findet man große Massen – und sogar ein Trampolin: die Raumzeit. Darin ist alles in Bewegung, weil kein einziger Himmelskörper in Ruhe an einem Ort verharrt. So beult die Erde bei ihrem Umlauf um die Sonne den Raum aus und strahlt dabei Gravitationswellen mit einer Leistung von 200 Watt ab. Aber auch diese Gravitationswellen sind noch so schwach, dass man sie nicht mit einem Detektor aufspüren kann.

Glücklicherweise gibt es im Universum viel heftigere Erschütterungen der Raumzeit: Wenn zwei Neutronensterne oder schwarze Löcher extrem schnell umeinander laufen oder gar miteinander kollidieren. Oder wenn ein massereicher Stern als Supernova explodiert. Solche kosmischen Ereignisse erzeugen Gravitationswellen mit einer Leistung von rund  $10^{45}$  Watt.

Gravitationswellen verändern den Abstand zwischen den im Raum enthaltenen Objekten senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Das zu messen, ist äußerst schwierig. Albert Einstein hielt den Nachweis daher für unmöglich. Und doch haben die Wissenschaftler Instrumente ersonnen, denen das gelungen

cosmic objects such as black holes in detail. And in the future, the researchers will even be able to “hear” almost as far back as the Big Bang.

But what exactly are these waves from outer space? The roots of modern gravitational research lie in Switzerland. There, in 1907, a “technical expert second class” at the patent office in Berne was giving some intense thought to gravity: Albert Einstein. He simulated gravity using acceleration, since acceleration also generates forces as occur, for instance, in a rapidly accelerating elevator. If the elevator car were soundproof and lightproof, the passengers might think that terrestrial gravity had suddenly increased.

The realization that gravitation is at least partially a question of one’s system of reference led Albert Einstein to the revolutionary ideas he presented in his general theory of relativity in the fall of 1915, after eight years of work. It was ultimately a field theory. It states that the accelerated motion of masses leads to perturbations that move through space at the speed of light – gravitational waves.

If you jump up and down on a trampoline, for example, you lose energy and generate these waves in space-time. They are immeasurably small, because a human being has a low mass and jumps relatively slowly. Space, on the other hand, contains very large masses – and even a trampoline: space-time. Everything is in motion here, as not a single celestial body remains at rest in one place. Earth bends space as it orbits the Sun, radiating gravitational waves with a power of 200 watts. But even these gravitational waves are still too weak to be tracked down with a detector.

Fortunately, there are also much stronger tremors of space-time in the universe: when two neutron stars or black holes orbit each other extremely quickly, or even collide with each other. Or when a massive star explodes as a supernova. Such cosmic events generate gravitational waves with a power of around  $10^{45}$  watts.

Gravitational waves change the separation between the objects in space perpendicularly to the direction of propagation. This is extremely difficult to measure, which is why Albert Einstein thought it would be impossible to detect them. And yet scientists have come up with instruments that have now succeeded in doing just that. The first-generation instruments of the 1960s consisted of aluminum cylinders weighing many tons and equipped with sensitive sensors. Pulses of gravitational waves should have caused them to oscillate

ist. Die Geräte der ersten Generation in den 1960er-Jahren bestanden aus tonnenschweren, mit sensiblen Sensoren bestückten Aluminiumzylindern. Gravitationswellenpulse mussten sie zum Schwingen bringen wie der Klöppel eine Kirchenglocke. Aber trotz hochgezüchteter Verstärker brachten solche Resonanzdetektoren keine Ergebnisse.

Daher konstruierten die Forscher noch weit empfindlichere Empfänger, sogenannte Laserinterferometer. Dabei trifft ein Laserstrahl auf einen Strahlteiler und wird dort in zwei Strahlen aufgespalten; einer läuft geradeaus weiter, der andere wird im Winkel von 90 Grad abgelenkt. Am Ende einer jeden Strecke sitzt ein Spiegel, der das Licht wieder auf den Strahlteiler reflektiert. Dieser lenkt die Strahlen nun so um, dass sie sich überlagern, also interferieren und auf eine Photodiode treffen.

Im Fall von ungestörten Messstrecken schwingen die ankommenden Lichtwellen nicht im Gleich-, sondern im Gegenteil: Wellenberg trifft auf Wellental, die Lichtwellen löschen sich gegenseitig aus. Stört eine Gravitationswelle das System und verändert somit die Messstrecken, geraten die Lichtwellen aus dem Takt. Der Empfänger bleibt nicht länger dunkel – ein Signal erscheint.

Am Max-Planck-Institut für Physik und Astrophysik baute eine Gruppe um Heinz Billing im Jahr 1975 den Prototyp eines solchen Interferometers mit einer Streckenlänge von drei Metern, 1983 einen mit 30 Metern. So wurden die Grundlagen geschaffen für alle folgenden Anlagen dieser Bauart. Vor allem für den Detektor GEO600, der seit Mitte der 1990er-Jahre auf einem Feld nahe Hannover seine 600 Meter langen Arme ausstreckt, haben die Wissenschaftler innovative Techniken entwickelt – sei es die Aufhängung der Spiegel oder die Stabilisierung des Lasers.

„So gesehen, ist Advanced LIGO auch unser Detektor“, sagte Karsten Danzmann am 11. Februar in Hannover anlässlich der offiziellen Bekanntgabe der Entdeckung. Denn die beiden baugleichen Anlagen in den USA stecken voll technischem Know-how aus Danzmanns Team. Als sie die Erschütterung der Raumzeit registrierten, hatte sich die Länge der jeweils vier Kilometer langen, senkrecht zueinander stehenden Laserlaufstrecken lediglich um den winzigen Bruchteil eines Atomkerndurchmessers verändert.

Um die Gravitationswellensignale im Datenwust zu entdecken, mussten die Wissenschaftler wissen, wonach sie überhaupt suchen sollten. Daher arbeiten die Forscher in der

like the clapper of a bell. But despite sophisticated amplifiers, these resonance detectors produced no results.

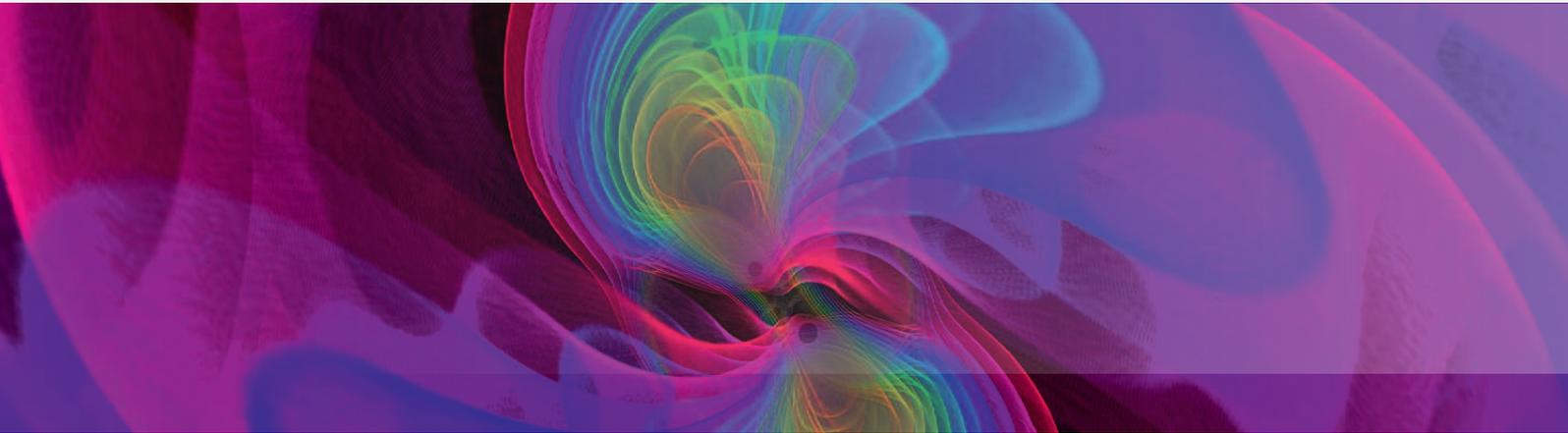
The researchers thus designed receivers that were even more sensitive, known as laser interferometers. Here, a laser beam impinges on a beam splitter, where it is split into two beams; one continues on in a straight line while the other is deflected to the side. At the end of each path is a mirror that reflects the light back to the beam splitter. This mirror now deflects the beams in such a way that they are superimposed on each other – that is, they interfere – and strike a photodiode.

In the case of unperturbed measurement paths, the light waves arriving at the photodiode oscillate not in phase, but out of phase: wave crest meets wave trough, the light waves extinguish each other. If a gravitational wave perturbs the system and thus changes the measurement paths, the light waves lose the beat. The receiver no longer remains dark – a signal appears.

In 1975, a group working with Heinz Billing at the Max Planck Institute for Physics and Astrophysics built the prototype of such an interferometer with a path length of 3 meters; in 1983 they built one with a 30-meter path length. The foundations were thus laid for all subsequent installations of this type. The scientists have developed innovative technologies – for instance for the suspension of the mirrors or to stabilize the laser – particularly for the GEO600 detector, which has been stretching out its 600-meter arms in a field near Hanover since the mid-1990s.

“Seen in this light, Advanced LIGO is our detector as well,” said Karsten Danzmann on February 11 in Hanover, on the occasion of the official announcement of the discovery. After all, the two structurally similar facilities in the US are full of technical know-how from Danzmann’s team. When they detected the tremor in space-time, the length of the laser paths, each four kilometers long and arranged perpendicular to each other, had changed by only a tiny fraction of the diameter of an atom.

In order to discover the gravitational wave signals in the pile of data, the researchers had to know what they were looking for in the first place. The researchers in Bruce Allen’s department in Hanover are therefore working on programs to see and analyze the signals. And Alessandra Buonanno’s group in Potsdam-Golm developed the models they use to better understand the sources of the waves.



Abteilung von Bruce Allen in Hannover an Programmen, um die Signale zu sehen und zu analysieren. Und die Gruppe von Alessandra Buonanno in Potsdam-Golm hat die Modelle entwickelt, um die Quellen der Wellen besser zu verstehen.

Das am 14. September 2015 aufgefangene Signal kündete von der Verschmelzung zweier schwarzer Löcher mit 29 und 36 Sonnenmassen, 1,3 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernt. Dank des engen Zusammenspiels von Experiment, Simulation, analytischer Berechnung und Datenanalyse brachten die Wissenschaftler hier Licht in die dunklen Ecken des Universums. Die Rippel der Raumzeit werden die Astronomie erhellen.

Text: Helmut Hornung

The signal detected on September 14, 2015 told of the merger of two black holes with 29 and 36 solar masses, 1.3 billion light-years away from Earth. The close interplay of experiment, simulations, analytical calculations and data analysis allows the scientists to illuminate the dark corners of the universe. The ripples in space-time will shed light on the astronomy of the future.

Author: Helmut Hornung

Kosmische Kollision: Die ersten jemals beobachteten Gravitationswellen stammen von zwei verschmelzenden, rund 1,3 Milliarden Lichtjahre von der Erde entfernten schwarzen Löchern. Forscher des Max-Planck-Instituts für Gravitationsphysik haben das Szenario am Computer simuliert.

© S. Ossokine, A. Buonanno (Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik), Simulating eXtreme Spacetime Projekt, D. Steinhauser (Airborne Hydro Mapping GmbH)

Cosmic collision: The first gravitational waves ever observed originated from two merging black holes around 1.3 billion light-years from Earth. Researchers at the Max Planck Institute for Gravitational Physics simulated the scenario on the computer (see also the magazine cover).

© S. Ossokine, A. Buonanno (Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik), Simulating eXtreme Spacetime project, D. Steinhauser (Airborne Hydro Mapping GmbH)

## Leseproben

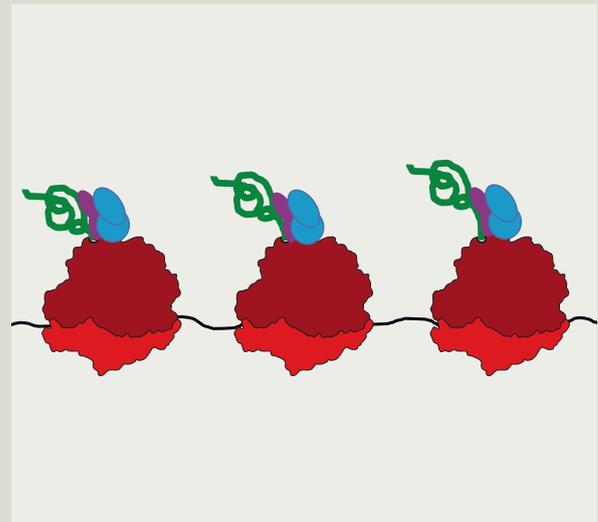
aus dem Jahrbuch der Max-Planck-Gesellschaft

## Extracts

from the Yearbook of the Max Planck Society

Das Jahrbuch der Max-Planck-Gesellschaft dient der wissenschaftlichen Rechenschaftslegung. Je nach Größe des Instituts werden ein oder mehrere Artikel über die Forschung am Institut vorgelegt. Am Ende sind es mehr als 110 Berichte über die an den Max-Planck-Instituten geleisteten Forschungsarbeiten, die das Jahrbuch bündelt. Eine kleine Auswahl von Jahrbuch-Beiträgen wird im Folgenden in Form von Kurzmeldungen vorgestellt. Sie sollen das Interesse wecken, im Internet weiter zu stöbern beziehungsweise die vollständigen Beiträge nachzulesen unter [www.mpg.de/166008/jahrbuecher](http://www.mpg.de/166008/jahrbuecher).

The Max Planck Society's Yearbook serves the purpose of scientific reporting. Depending on its size, an Institute submits one or two articles on its research activities. In total, the yearbook contains more than 110 reports about the research carried out at the Max Planck Institutes. A small selection of contributions from the Yearbook is presented below in the form of synopses which should stir the reader's interest to browse for more information online or to read the entire contributions at <https://www.mpg.de/yearbooks>



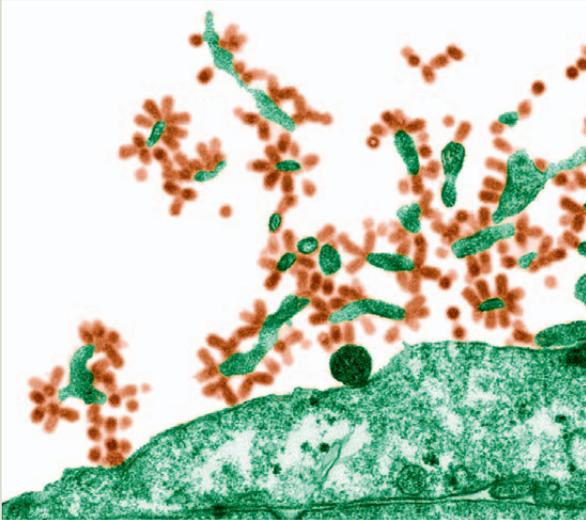
© MPI FÜR MOLEKULARE BIOMEDIZIN

### STAU IN DER PROTEINFABRIK

Damit in einem Autowerk fahrtüchtige Neuwagen vom Band rollen, muss die Geschwindigkeit der Fließbänder stimmen. Läuft das Band langsamer, während die Maschinen im gleichen Tempo weiterarbeiten, passieren schwere Fehler. Ganz ähnlich ist es bei der Proteinherstellung in der Zelle: Hier schweißen die Ribosomen – große Komplexe aus Proteinen und Ribonukleinsäure – einzelne Aminosäuren zu Peptidketten zusammen. Spezielle Faltungshelfer, sogenannte Chaperone, bringen diese in die richtige Form. Das Team um Sebastian Leidel am MPI für molekulare Biomedizin untersucht mutierte Hefezellen, bei denen die Herstellung der Peptidketten aufgrund eines defekten Enzyms teilweise verlangsamt ist. Das bringt die Chaperone aus dem Takt: Proteine werden fehlerhaft gefaltet, verklumpen und häufen sich in der Zelle an, bis diese schließlich versagt. Die Befunde sind für die Medizin von großem Interesse: Proteinklumpen finden sich bei neurodegenerativen Krankheiten wie Alzheimer oder Parkinson.

### CONGESTION IN THE PROTEIN FACTORY

In order for roadworthy new cars to roll off the assembly lines in an automotive plant, the assembly line speed must be correct. If the line is slower and the machines continue to work at the same pace, serious errors will occur. A similar problem arises when protein is manufactured in the cell: this is where the ribosomes – large complexes consisting of proteins and ribonucleic acids – bind individual amino acids into peptide chains. Special proteins, known as chaperones, help to fold these into the correct shape. The team headed by Sebastian Leidel at the Max Planck Institute for Molecular Biomedicine is currently studying mutated yeast cells in which the manufacture of peptide chains is sometimes slowed down due to a faulty enzyme. This disrupts the chaperone's activity: proteins are folded incorrectly, clump together and accumulate in the cell until they finally 'choke' it. The findings are of major interest to medicine: protein aggregates are found in neurodegenerative diseases like Alzheimer's or Parkinson's.



© ALAMY



© CANISTOCK

### GRIPPEVIREN IM COMPUTER

Wir sind umgeben von Viren und Bakterien, die sich im Wettstreit ums Überleben ständig verändern – eine große Herausforderung bei der Entwicklung von Impfstoffen. Die Arbeitsgruppe um Richard Neher am MPI für Entwicklungsbiologie erarbeitet Computermodelle, die es ermöglichen, die evolutionäre Dynamik von Mikroorganismen vorherzusagen. Damit können die Forscher etwa Prognosen über die Eigenschaften künftiger Virusstämme treffen. Für Grippeerreger ist dies besonders relevant, weil der Impfstoff immer wieder aktualisiert werden muss, damit er zuverlässig wirkt. Die Wissenschaftler verglichen ihr Modell mit der Evolution von Grippeviren in den Jahren 1995 bis 2014. Im gesamten Zeitraum lagen ihre Vorhersagen zur vorherrschenden Virusvariante nah an der Wirklichkeit, in vielen Jahren trafen sie sogar genau zu. Derzeit verfeinern die Forscher ihre Methode, um der WHO optimale Prognosen für die Impfstoffzusammensetzung liefern zu können.

### FLU VIRUSES ON THE COMPUTER

We are surrounded by viruses and bacteria that are constantly changing as they struggle for survival – a major challenge in the development of vaccines. The working group led by Richard Neher at the Max Planck Institute for Developmental Biology is developing computer models that will help to predict the evolutionary dynamic of microorganisms. By so doing, researchers will be able for example to make prognoses about the properties of future virus strains. This is particularly relevant for influenza pathogens, as the vaccine needs to be constantly updated in order for it to be reliable. The scientists compared their model with the evolution of influenza viruses in the years between 1995 and 2014. Their predictions regarding the prevailing virus variant were close to reality over the entire period; in several years, they even matched it exactly. The researchers are currently refining their method so that they can provide WHO with optimum forecasts for the composition of the vaccine.

### CHRONISCHEN SCHMERZ BESIEGEN

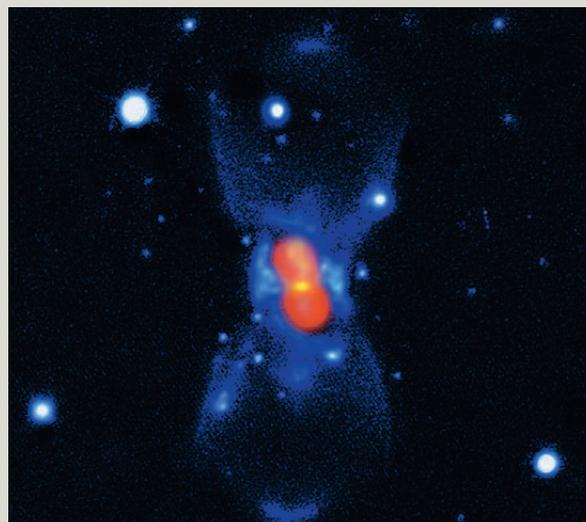
Akuter Schmerz ist überlebenswichtig. Er stellt sicher, dass wir die Hand von der heißen Herdplatte ziehen, verletzte Gliedmaßen schonen oder bei einer Blinddarmentzündung ins Krankenhaus fahren. Chronische Schmerzen sind hingegen eine Fehlanpassung des Nervensystems und lassen sich zudem nur schwer therapieren. An der Schmerzentstehung sind in beiden Fällen spezielle Membranproteine in den Nervenzellen beteiligt. Sie dienen als molekulare Antennen, die schmerzhafte Reize wahrnehmen und weiterleiten. Dabei treten sie mit vielen anderen Proteinen in Kontakt. Welche Proteine für die eine oder andere Schmerzform relevant sind und wie sie miteinander wechselwirken, ist bislang wenig bekannt. Manuela Schmidt und ihr Team am MPI für experimentelle Medizin erforschen an Mäusen, welche Proteine ausschließlich bei chronischen Schmerzen eine Rolle spielen. Dies soll dazu beitragen, neue, effektive Schmerztherapien mit möglichst geringen Nebenwirkungen zu entwickeln.

### CONQUERING CHRONIC PAIN

Acute pain is critical to our survival. It ensures that we pull our hand away from a hot stovetop, protect injured limbs or go to the hospital in the case of appendicitis. Chronic pain, on the other hand, is a maladaptation of the nervous system and can also be difficult to treat. In both cases, specific membrane proteins in the nerve cells are involved in the development of pain. They serve as molecular antennae, which perceive and transfer painful stimuli. In doing so, they come into contact with many other proteins. Up until now, little has been known about which proteins are relevant to one or other type of pain, and how they interact with one another. Manuela Schmidt and her team at the Max Planck Institute for Experimental Medicine are investigating which proteins in mice play a role exclusively in chronic pain. This should contribute to the development of new, effective pain treatments with a minimum number of side effects.



© MPI FÜR PLASMA PHYSIK/BRANDT



© MPI FÜR RADIOASTRONOMIE

#### EXPERIMENTIERBEGINN IN GREIFSWALD

Nach neun Jahren Bauzeit und gut einem Jahr technischer Vorbereitungen war es am 10. Dezember 2015 am MPI für Plasmaphysik (IPP) in Greifswald soweit: Das erste Helium-Plasma wurde in der neuen Fusionsanlage Wendelstein 7-X erzeugt. Kernstück der Anlage sind 50 supraleitende, 3,5 Meter hohe Magnetspulen, die auf ein stählernes Plasmagefäß aufgefädelt sind. Die Form dieser Spulen ist das Ergebnis ausgefeilter Optimierungsrechnungen. Wendelstein 7-X soll nachweisen, dass neben den einfacher aufgebauten Tokamaks, die das IPP in Garching untersucht, auch die komplexen Stellarator-Anlagen kraftwerkstauglich sind. Nachdem die ersten Plasmen nur für Sekundenbruchteile erzeugt worden sind, wird das Plasmagefäß im Jahr 2016 wieder geöffnet, um Kohlenstoffkacheln zum Schutz der Gefäßwände zu montieren, mit denen dann höhere Heizleistungen möglich werden. In rund vier Jahren sollen dann 30 Minuten lange Entladungen möglich sein.

#### EXPERIMENTS BEGIN IN GREIFSWALD

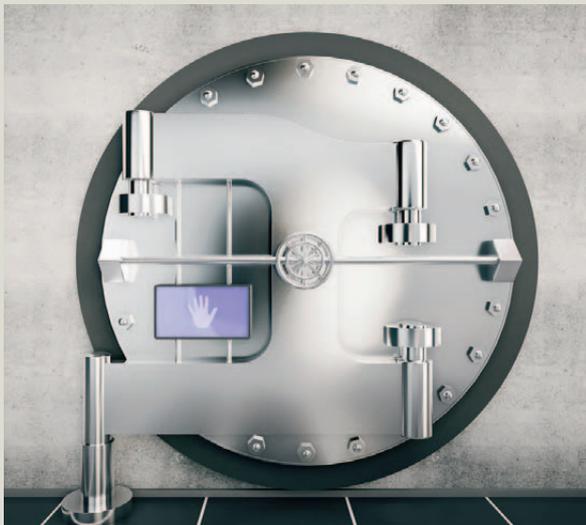
After nine years of construction work and a full year of technical preparations, on 10 December 2015 the first helium plasma was generated in the new Wendelstein 7-X fusion device at the MPI for Plasma Physics (IPP) in Greifswald. At the heart of the system are 50 3.5-metre-high superconducting magnetic coils threaded onto a steel plasma vessel. The shape of the coils is the result of sophisticated optimization calculations. Wendelstein 7-X is intended to demonstrate that – like the more simply constructed tokamak, which is being operated by IPP in Garching – the complex stellarator design is suitable for use in power plants. After the first plasmas were generated for only fractions of a second, the plasma vessel was opened again in 2016 in order to install carbon tiles to protect the vessel walls. This will allow higher temperatures to be reached. In around four years it should then be possible to achieve discharges lasting 30 minutes. The start of the experiments has attracted worldwide attention.

#### ASTRONOMISCHES RÄTSEL NACH 345 JAHREN GELÖST

Im Jahr 1670 erschien am Himmel über Europa ein neuer Stern, der zeitweise sogar mit dem bloßen Auge zu sehen war. Lange Zeit dachte man, dass es sich dabei um eine Nova, also den explosiven Ausbruch in einem engen Doppelsternsystem gehandelt hat. Erst im Jahr 2015, also 345 Jahre nach dem Ereignis, haben Karl Menten und Tomasz Kaminski vom MPI für Radioastronomie gezeigt, dass dahinter wohl ein viel selteneres Phänomen steckte, nämlich die Kollision zweier Sterne. Mit dem APEX-Teleskop in Chile, dem Submillimeter Array auf Hawaii sowie dem 100-Meter-Radioteleskop in Effelsberg konnten die Wissenschaftler die Gaswolke am Ort der Explosion untersuchen und fanden dabei eine Reihe von kleinen organischen Molekülen wie Blausäure, Methanol und sogar Formaldehyd. Die Masse des kalten Gases war jedoch zu groß, um in einer Nova entstanden zu sein; auch die Isotopenverhältnisse der Elemente waren ganz andere als normal.

#### ASTRONOMICAL MYSTERY SOLVED AFTER 345 YEARS

In 1670, a new star appeared in the skies above Europe - a star which could occasionally even be seen with the naked eye. For a long time, it was thought to have been a nova, i.e. an explosive eruption in a close binary star system. It was only in 2015 - 345 years after the event - that Karl Menten and Tomasz Kaminski from the MPI for Radio Astronomy were able to show that it was caused by a much rarer phenomenon, namely the collision of two stars. Using the APEX telescope in Chile, the Submillimeter Array on Hawaii, and the 100-metre radio telescope in Effelsberg, the scientists were able to study the gas cloud at the location where the explosion had occurred. What they found were a number of small organic molecules such as hydrocyanic acid, methanol and even formaldehyde. The mass of the cold gas was too big to have been produced in a nova, however; the isotopic ratios of the elements were also quite different to those normally found. "Such discoveries are the most enjoyable – something that is completely unexpected," comments Karl Menten, co-author of the study.



© THINKSTOCK



© THINKSTOCK

#### FINANZSTABILITÄT IN DER BANKENUNION

Die Stabilität des globalen Finanzsystems ist seit der Finanzkrise 2007–2009 und der andauernden Eurokrise in der Diskussion. Stephan Luck und Paul Schempp vom MPI zur Erforschung von Gemeinschaftsgütern plädieren für die Vervollständigung der Europäischen Bankenunion: Diese umfasst einen einheitlichen Mechanismus zur Bankenaufsicht und -abwicklung, jedoch keine einheitliche Einlagensicherung. Dabei ist eine glaubwürdige Einlagensicherung ein wirksames Mittel gegen selbsterfüllende Bank Runs, also gegen das kollektive Abheben der Einlagen durch die Kunden und damit die Pleite der Bank. Die nationale Einlagensicherung in den schwächeren Eurostaaten ist nur eingeschränkt glaubwürdig. Die Angst der stärkeren Staaten, für Probleme anderer Staaten zu haften, hat eine einheitliche Einlagensicherung bisher verhindert. Aufgrund der intensiven Verflechtung des europäischen Bankensystems ist eine Krise in den schwächeren Staaten jedoch für alle fatal, weshalb auch alle von einer einheitlichen Einlagensicherung profitieren.

#### FINANCIAL STABILITY IN THE BANKING UNION

Since the financial crisis of 2007–2009 and the ongoing Eurozone crisis, the stability of the global financial system has become a major concern. Stephan Luck and Paul Schempp of the MPI for Research on Collective Goods make a case for completing the European Banking Union which currently only comprises a Single Supervisory Mechanism and a Single Resolution Mechanism – but no joint deposit insurance. A credible deposit insurance has proved to prevent self-fulfilling Bank Runs, i.e., the customers' collective withdrawal of deposits which would lead to the bank's insolvency. There is doubt that the national deposit insurance schemes in the weaker Eurozone countries are credible, but a joint deposit insurance has not been established because the stronger countries fear to become liable for problems in weaker countries. However, crisis in weaker countries are harmful to everyone because of the interconnectedness of the European banking systems. Thus, a supranational deposit insurance could benefit all parties.

#### TÖDLICHE GEWALT BEI AUSLANDSEINSÄTZEN

Der Einsatz von Waffengewalt durch deutsche Streitkräfte bei Auslandseinsätzen ist v.a. seit dem verheerenden Luftangriff in Kunduz im Jahr 2011 mit zahlreichen zivilen Opfern in der Diskussion. Er steht im Kontext asymmetrischer Konflikte, in denen Mittel und Grenzen der Kriegsführung durch Streitkräfte v.a. westlicher Demokratien politisch und juristisch umstritten sind. In seiner Dissertation hat Carl-Wendelin Neubert vom MPI für Strafrecht in Freiburg den Waffeneinsatz aus Sicht des Völkerrechts und des deutschen Rechts untersucht. Neubert analysiert etwa, dass in bewaffneten Konflikten auch das deutsche Recht den Einsatz tödlicher Gewalt weniger strengen Voraussetzungen unterwirft als im Inland, dass aber in weitgehend befriedeten Konfliktzonen die strikten Regeln des Schusswaffengebrauchs im Inland gelten. Die bisherigen Rechtsgrundlagen für den Einsatz tödlicher Gewalt bei Auslandseinsätzen halten jedoch den Anforderungen des Grundgesetzes nicht stand – es bedarf neuer Gesetze, um Rechtssicherheit herzustellen.

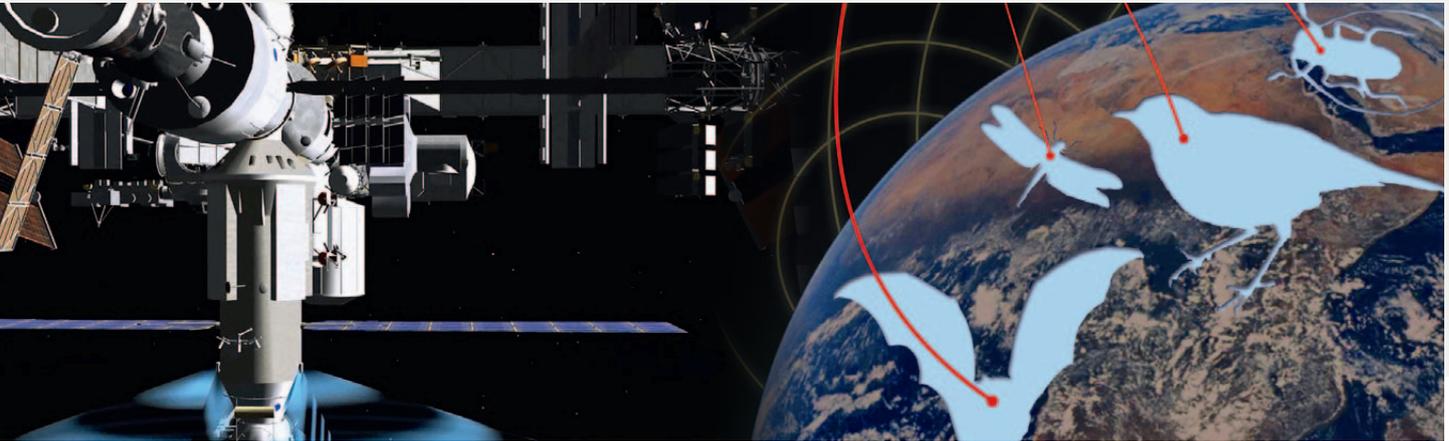
#### USE OF LETHAL FORCE IN MILITARY OPERATIONS ABROAD

The use of weapons by German armed forces during operations abroad is under debate, particularly since the devastating airstrike on Kunduz in 2011, which claimed the lives of many civilians. This debate is taking place against the backdrop of asymmetric conflicts, in which the means and limits of the conduct of war by military forces, particularly those originating from Western democracies, are a matter of political and legal dispute. In his doctoral thesis, Carl-Wendelin Neubert from the MPI for Foreign and International Criminal Law in Freiburg investigated the use of weapons from the perspective of international and German law. He analyzed, for example, how the requirements under German law in relation to armed conflict abroad are less strict than those applicable at home, and how the strict rules governing the use of firearms at home also apply in predominantly pacified conflict zones. The legal provisions applicable to the use of lethal force during operations abroad up to now do not fulfil the requirements of the German Basic Law.

MARTIN WIKELSKI

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR ORNITHOLOGIE, TEILINSTITUT RADOLFZELL

## Erdbeobachtung durch Tiere



Der große deutsche Naturforscher Alexander von Humboldt hatte vor gut 200 Jahren eine ebenso einfache wie geniale Idee. Wenn man die einzelnen Teile eines Systems kennt und deren Zusammenspiel beschreiben kann, sollte man das Gesamtsystem verstehen können. Während in der Physik und Chemie diese Ansätze sehr weit fortgeschritten sind, klafft in der Ökologie hier eine große Lücke. Der Hauptgrund hierfür ist, dass die Beobachtung der einzelnen Teile in der Ökologie sehr schwierig bis unmöglich ist, beziehungsweise war. Vor allem die zum Teil globalen Bewegungen von Individuen machen den Wissenschaftlern zu schaffen. Man muss sich nur einmal vorstellen, die Bewegungen von Planktonorganismen im Meer oder den Zug von etwa 20 Milliarden Singvögeln beobachten zu wollen.

In den letzten Jahren hat es in der Bewegungsökologie, also dem Studium der globalen Bewegung von Organismen, jedoch fundamentale Fortschritte gegeben. Zum einen sind die theoretischen Grundlagen für die Beschreibungen der Bewegungen sehr stark verbessert und an physikalische Grundgesetzmäßigkeiten angepasst worden. Zum anderen entstehen gerade vielfältige neue Technologien basierend auf der Verbrauchermikroelektronik, die auch zum Studium von Tierbewegungen eingesetzt werden können.

Außerdem wird es ab Frühjahr 2017 eine neue globale, weltumbasierte Erdbeobachtungsplattform geben, das ICARUS-System. Mit diesem System können kleine, autonom operierende Sensoreinheiten auf Tieren weltweit ausgelesen und programmiert werden. ICARUS steht als Kurzform für ‚International Cooperation for Animal Research Using Space‘, also einen weltweiten Zusammenschluss von Tierökologen, die Weltraumtechnologie für ihre Forschung einsetzen.

Solche Technologien besitzen auch viele praktische Anwendungen, z.B. für die Voraussage von zoonotischen Krankheiten wie Ebola, Vogelgrippe oder West-Nile-Virus und Naturschutzmaßnahmen von NGOs und GOs. So besteht zum Beispiel ein Memorandum of Understanding zwischen der Welternährungsorganisation FAO und dem Max-Planck-Institut für Ornithologie/Teilinstitut Radolfzell zum Studium der Ausbreitung globaler Tierseuchen, die auch für Menschen gefährlich werden können. Weiterhin unterstützen die 121 Nationen in der Bonner Konvention zum Schutz der wandernden Tierarten die Entwicklungen der ICARUS-Initiative sowie der von unserem Institut initiierten globalen Tierbewegungsdatenbank Movebank.

ICARUS entwickelt damit sowohl eine Technologieplattform, steht aber auch für eine Globalisierung des Forschungsansatzes in der Bewegungsökologie der Tiere. Voraussetzung hierfür ist auch ein formeller Zusammenschluss der im Freiland arbeitenden Tierökologen. Dies ist gerade in der ‚International Bio-Logging Society‘ geschehen, die im September 2017 ihre 6. bi-annuale Weltkonferenz in Konstanz, organisiert durch das MPIO Teilinstitut Radolfzell, abhalten wird. Während dieser Konferenz wird die „Dekade des Bio-Loggings“ ausgerufen, in der weltweit alle Tier- und Bewegungsdaten zusammengeführt werden und in der mit einheitlichen Datenstandards und globaler Vergleichbarkeit gearbeitet wird. Zudem werden auch die Datenanalysen automatisiert und automatisch mit Erdbeobachtungsdaten verknüpft, z.B. aus dem europäischen Copernicus-Programm bzw. von der NASA.

Für die zukunftssträchtige Verbreitung und Anwendung dieses wissenschaftlichen Ansatzes wird an der Universität

Konstanz jetzt ein Cluster zur Bewegungsökologie mit derzeit vier neuen Professuren in diesem Feld eingerichtet. Damit sind die strukturellen Voraussetzungen gegeben, diese enorm expandierende Wissenschaftsrichtung in Zukunft global zu unterstützen und anzuführen.

Ein wesentlicher Bestandteil dieses neuen Forschungsfeldes ist auch das Verständnis des Kollektivverhaltens von Tieren, was durch die Abteilung von Iain Couzin am MPIO Teilinstitut Radolfzell in Zusammenarbeit mit seiner Professur an der Universität Konstanz ermöglicht wird. Denn bisher wurden in der Tierökologie vor allem individuelle Optimierungen bzw. nur lokale Interaktionen von Individuen betrachtet. Der Hauptgrund dafür war das Fehlen technischer Möglichkeiten, die Interaktionen von Tieren im Freiland zu beobachten. Durch den Fokus auf das Kollektivverhalten und den Einsatz moderner Beobachtungsmethoden können jetzt die Interaktionen von Tieren wie z.B. einer gesamten Paviangruppe in Höchstauflösung im Freiland beobachtet werden und mit Umweltdaten verknüpft werden. So können Tiere mit ihren Interaktionen zum ersten Mal wie physikalische Teilchen behandelt werden, deren gesetzmäßiges Verhalten beschrieben und vorausgesagt werden kann.

Mit diesen neuen globalen Möglichkeiten und Entwicklungen in der wissenschaftlichen Theorie der Tierbewegungen hat sich auch die Ausrichtung der ehemaligen Vogelwarte Radolfzell erweitert. Nach wie vor ist die Beringung von Vögeln ein wichtiges Standbein für das Populationsmonitoring und das Verständnis globaler Wanderbewegungen sowie deren Veränderungen im Anthropozän und durch Klimawandel.

Erweitert wurden an der Vogelwarte in Radolfzell auch die Methoden der Öffentlichkeitsarbeit, die jetzt nicht mehr nur Amateure in der Vogelberingung einschließen, sondern über die digitale „Animal Tracker“-App auch eine globale Öffentlichkeit oder Citizen Scientists (Bürgerwissenschaftler) ansprechen. In dieser App können ‚Citizen Scientists‘ weltweit Tierbeobachtungen mit Daten von elektronischen Tiersendern verknüpfen und damit einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis des Tierverhaltens liefern. Wichtig ist dies vor allem in den Gegenden der Welt, die nicht dauernd von Biologen besucht werden, wie die Sahelzone oder Zentralafrika, wo viele unserer europäischen Vögel die Nicht-Brutzeit verbringen.

Aus wissenschaftlicher Sicht können mit diesem Ansatz vor allem zwei der ganz großen offenen Fragen in der Tierökologie und Evolution endlich beantwortet werden: Erstens,

die Jugendentwicklung von Tieren und die Ausbildung von Merkmalen und Verhaltensweisen in dieser Jugendentwicklung. Von uns Menschen wissen wir, dass unsere individuellen Entscheidungen sehr stark auf unserer eigenen Lebensgeschichte basieren. Bei Tieren ist dies nicht anders und nur eine lebenslange Beobachtung individuellen Tierverhaltens kann hierüber Aufschluss geben.

Der zweite wesentliche Punkt ist das Überleben bzw. Sterben von Tieren. Bisher war es praktisch unmöglich festzustellen, wo individuelle Tiere sterben beziehungsweise wo sie auf ihren lebenslangen Wanderungen Probleme haben. Für ein Verständnis von Tierphysiologie und Ökologie sind diese Selektionsergebnisse essenziell, da nur dann die Ausprägung von Merkmalen als evolutionäre Antwort auf Selektionsergebnisse verstanden werden kann.

Ein weiterer Punkt ist die Tierphysiologie, denn wir können jetzt viele physiologische Parameter während des normalen Lebens eines Tieres dauerhaft und weltweit beobachten. Die Wichtigkeit dieses Neuansatzes in der globalen Tierökologie kann nicht stark genug betont werden, denn bisher konnte man zur Jugendentwicklung und zu den ultimativen Gründen für Merkmalsausbildungen bei Tieren sehr wenig aussagen.

**AB DEM FRÜHJAHR 2017 WIRD ES EINE NEUE GLOBALE, WELTRAUMBASIERTE ERDBEOBACHTUNGS-PLATTFORM GEBEN, DAS ICARUS-SYSTEM.**



Auch in diesem Zusammenhang wird klar, dass die Forschungen an globalen Tierbewegungen direkte Anwendungen haben, zum Beispiel im Naturschutz und in der Bekämpfung globaler zoonotischer Krankheiten. In Projekten mit der FAO untersuchen wir beispielsweise, wie Flughunde sich in Südostasien oder Afrika bewegen. Wir schaffen damit die Voraussetzungen, den Wirt und den Aufenthaltsort des Ebola-Erregers zwischen den Ausbrüchen zu ermitteln. Dies kann idealerweise über Sentinels, also Anzeigorganismen wie die Flughunde, geschehen, die als Erdbeobachter mit inhärenter tierischer Intelligenz zu Millionen den afrikanischen Kontinent abfliegen.

Weitere Anwendungen sind die Bestimmung von Vogelgrippe-Ausbrüchen in den Ausbruchgebieten Südwestchinas. Dort werden Enten und Gänse mit Sensoren ausgestattet und können dann einen Krankheitsausbruch anzeigen. Auch hier sind Enten und Gänse also unsere besten Verbündeten in der Früherkennung globaler zoonotischer Krankheiten und somit in-situ-Erdbeobachter in einem globalen Netzwerk intelligenter Sensoren.

Ein weiteres Beispiel ist die Verknüpfung von wissenschaftlicher Innovation und wirtschaftlich-technischer Anwendung. Seit etwa 30 Jahren werden von der Vogelwarte Radolfzell Störche mit Satellitensendern versehen, um ihre Wanderungen zu beobachten. Dies schließt an eine hundertjährige Beringung der Störche an, die noch in Rossitten von der ehemaligen Vogelwarte und später der Vogelwarte der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft initiiert wurde. Heute werden hunderte von Jungstörchen schon im Nest besendert, um ihre Jugendentwicklung und ihre Überlebensstrategien sowie ihre Physiologie zu verstehen.

Zum einen trägt dies zum Naturschutz bei, zum anderen aber auch zu einem Verständnis der Evolution des Vogelzugs im Klimawandel, denn die Beobachtungen der schon 1910 beringten Störche können jetzt mit denen von 2010 verglichen werden. Heute nehmen wir aber ihre GPS-Positionen im Sekundentakt auf und messen gleichzeitig das 3D-Windfeld, die Windturbulenz und die Thermik. Solche Informationen können in Zukunft in Wetter und Klimavorhersagen einfließen.

Weiterhin ist durch die Beobachtung der Störche in Afrika klar geworden, dass viele Fressgebiete der Störche in den Ablagefeldern der Wanderheuschrecken liegen. Störche können so als Bio-Indikatoren unsere „Spürhunde“ für die meist unbekanntesten räumlichen Verteilungen der Eiablagefelder einer der größten Plagen der Menschheit sein.

Durch unsere Messungen verstehen wir also die Evolution von Tierbewegungen, schützen diese Tiere und nutzen die Information individueller Störche als Umweltbojen.

Durch die Anwendungen der neuen globalen Beobachtungstechnologien werden jetzt auch zum ersten Mal Freilandexperimente zur Evolution des Vogelzugs möglich. An unserem Institut kann in der Arbeitsgruppe von Jesko Partecke der Teilzug der Amseln von Spanien über Deutschland nach Russland beobachtet und experimentell verändert werden. Hierzu werden wie in den klassischen Experimenten meines Vorgängers Peter Berthold Vögel in Gefangenschaft gezüchtet, die bestimmte Merkmale hinsichtlich des Vogelzugs besitzen.

Spanische Amseln sind Standvögel, deutsche Amseln Teilzieher und russische Amseln sind ausschließlich Zugvögel. Gruppen dieser Amseln können jetzt in den Volieren am Institut so zusammengestellt werden, dass entweder reine Zieher oder Nicht-Zieher, oder Mischungen dieser Merkmalsausprägungen entstehen. Danach kann der Nachwuchs dieser Amseln ins Freiland gebracht werden und wir können zum ersten Mal beobachten, wie Individuen aus einer bekannten Herkunftsgegend im Freiland entscheiden: ziehen oder nicht ziehen? Somit können die Nachkommen russischer Zug-Amseln in Deutschland, Spanien und Russland in die Freiheit entlassen werden bzw. die Nachkommen spanischer Stand-Amseln ebenso in Deutschland, Spanien oder Russland beobachtet werden. Gleichzeitig können wir durch eine Zusammenarbeit mit der Universität Konstanz und dem MPI für Evolutionsbiologie in Plön die genetische und genomische Grundlage dieses Verhaltens untersuchen.

Über die neuen Sender, die das Verhalten der Amseln aufzeichnen, können auch zusätzliche Parameter, wie Jahresrhythmus, Orientierung und Navigation im Freiland bestimmt werden. Dies ist wichtig, denn bisher konnten solche Experimente praktisch ausschließlich im Labor ausgeführt werden. Den Amseln wird gleichzeitig ein miniaturisierter Chip implantiert, der ihren Energieverbrauch misst und der aufzeichnet, wie die russischen Amseln im Vergleich zu anderen Amseln ihren Fettstoffwechsel während der Zugzeit und danach regulieren.

Mit diesem integrierten Ansatz können jetzt also erstmals viele der großen noch offenen Fragen des Vogelzugs erforscht werden. Gleichzeitig dient die Beantwortung solcher Fragen dem biologischen Grundlagverständnis von



**WIR UNTERSUCHEN MIT DEM TRACKING ZWEI GROSSE WISSENSCHAFTLICHE FRAGEN: DIE DER JUGENDENTWICKLUNG VON TIEREN UND DAS ÜBERLEBEN UND STERBEN VON INDIVIDUELLEN TIEREN.**

komplexen Merkmalen in der Lebensgeschichte von Organismen. Schließlich gibt es wohl wenig wichtigere Entscheidungen im Leben eines Organismus, als den Heimatort zu verlassen und in einen neuen Kontinent zu wandern ohne zu wissen, was einen dort erwartet.

Insgesamt können die konzeptionellen sowie technologischen Innovationen in unserem Forschungsbereich eine neue Ära der globalen Tierökologie einleiten, die das Potenzial besitzt, die menschliche Gesellschaft zu verändern. Die in diesem Bereich arbeitenden Wissenschaftler sprechen derzeit von einem ‚Goldenen Zeitalter‘ der Bewegungsökologie. Tiere werden bald unsere besten Erdbeobachter sein. Ein weltweiter Verbund von evolvierten, intelligenten Sensoren – den tierischen Augen, Ohren und Nasen – wird uns über die Lebensvorgänge auf dem Planeten Erde informieren. Die kollektive Intelligenz des globalen Tier-Schwarms wird uns erlauben, Phänomene zu beobachten und vorherzusagen, die sich bisher einer technischen Beobachtung entziehen.

Der enorme Wert dieser tierischen Beobachtungen für die menschliche Gesellschaft wird derzeit im Weltbiodiversitätsrat, der „Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services“ evaluiert. Tiere und Menschen werden auf diese digitale Art stärker zusammenrücken, und Menschen werden Tiere als ihre „globalen Spürhunde“ besser schützen und bewahren. Humboldts Vision könnte sich in den nächsten zwei Jahrzehnten auch in der Ökologie umsetzen lassen.

**WISSENSCHAFTLER, DIE SICH MIT TIERWANDERUN-  
GEN BESCHÄFTIGEN, SPRECHEN VON EINEM  
„GOLDENEN ZEITALTER“ DER BEWEGUNGSÖKOLOGIE.**



MARTIN WIKELSKI

MAX PLANCK INSTITUTE FOR ORNITHOLOGY, RADOLFZELL SUB-INSTITUTE

## Observing the Earth through animals

The great German natural scientist Alexander von Humboldt had a simple but ingenious idea 200 years ago. If one knows the individual parts of a system and can describe their interaction, it should be possible to understand the overall system. While such approaches are highly advanced in physics and chemistry, ecology is lagging well behind. The main reason for this is that the observation of the individual parts is very difficult to impossible in ecology – or at least used to be. Above all, the sometimes global movement of individuals within a multitude of species presents great challenges for scientists. Just imagine wanting to monitor the movements of planktonic organisms in the sea or the annual migration of around 20 billion songbirds.

However, major progress has been made in movement ecology – the study of the global movement of organisms – in recent years. On one hand, the theoretical basis for the description of movement has improved significantly and has been adapted to the basic laws of physics. On the other, a wide range of new technologies partly based on consumer microelectronics have emerged which can also be deployed for the study of animal movements.



**A NEW GLOBAL, SPACE-BASED EARTH MONITORING PLATFORM WILL BE LAUNCHED IN SPRING 2017 – THE ICARUS SYSTEM.**

A new global, space-based platform for observing the Earth is also set to be launched in spring 2017 – the ICARUS system. This will enable small, autonomously operating sensors attached to animals to be read and programmed worldwide. ICARUS is an acronym for “International Cooperation for Animal Research Using Space”, a global alliance of animal ecologists who deploy space technology in their research.

Such global animal observation programs also have many practical applications, including forecasting zoonotic diseases, such as Ebola, Bird Flu and the West Nile virus, and enabling nature conservation measures by NGOs and GOs. A memorandum of understanding exists, for example, between the Food and Agriculture Organization of the United Nations and the Max Planck Institute for Ornithology/Radolfzell Sub-Institute on the study of the spread of global epizootic diseases that can also pose a danger to humans. The 121 nations

which have signed the Bonn Convention on the Conservation of Migratory Species are also supporting the developments of the ICARUS initiative, as well as Movebank, the global animal movement database launched by our department.

ICARUS is thereby developing a technology platform but also represents the globalization of the approach to research in the movement ecology of animals. This also required a formal alliance of the animal ecologists working in the wild, the ‘International Bio-Logging Society’ which will hold its 6th biannual world conference in Konstanz in September 2017, organized by the MPIO Radolfzell Sub-Institute. The “Bio-logging decade” will be declared at this conference where, starting in 2018, all animal and movement data worldwide will be converged and processed based on uniform data standards and global comparability. The data analysts will establish an automated link to the Earth observational data, for example, from the European Copernicus Programme or from NASA.

A movement ecology cluster is currently being set up jointly between the Max-Planck Society and the University of Konstanz with four new professors working in this field to ensure the future-oriented circulation and application of this scientific approach. This cluster initiative will ensure that all the structural requirements are met to globally support and spearhead this scientific discipline, which is expanding enormously.

A key element of this new research field is also the understanding of the collective behaviour of animals being made possible by Iain Couzin’s Department at the MPIO Radolfzell Sub-Institute in collaboration with his professorship at the University of Konstanz. Studies in animal ecology previously primarily focused on individual observations or solely local interaction of individual animals. The main reason for this was the lack of our technical capability to observe the interaction of animals in the wild. By focusing on collective behaviour and deploying state-of-the-art observational methods, the interaction of animals can now be observed – for example, an entire troop of baboons in high resolution in the wild – and linked with environmental data. The enormous data sets collected in this way – e.g., some 20 million GPS points on 30 baboons in 6 weeks – allow wild vertebrate animals and their interaction for the first time to be treated as small physical particles whose regular patterns of behaviour can be described and predicted.

The activities of the former ornithological station in Radolfzell have been expanded thanks to these new global technology opportunities and developments in the scientific theory of animal movements. Nevertheless, the ringing of birds

remains an important part of population monitoring and understanding global migratory movements and their changes in the Anthropocene period and the age of climate change.

The methods of engaging the public – which now no longer just include bird-ringing amateurs but instead also target a global audience or citizen scientists via the digital ‘Animal Tracker’ app – have also been enhanced at the ornithological station in Radolfzell. This app enables citizen scientists worldwide to link animal observations with data from electronic animal transmitters and thus make a significant contribution to the understanding of animal ecology. Amateur observations are particularly important in parts of the world which are not continually visited by biologists, such as the Sahel zone or Central Africa, where many European birds spend the non-breeding season.

From a scientific perspective, the ICARUS approach first and foremost enables two of the major unresolved issues in animal ecology and evolution to finally be answered: Firstly, the ontogenetic development of young animals and the formation of characteristics and behavioural patterns during their youth and entire life. From our understanding of humans, we know that our individual decisions are heavily influenced by our own life histories. This is no different in the animal world and only a life-long observation of individual animal behaviour can shed light on decisions that ultimately affect the Darwinian fitness of individuals.

The second key point that is so far unresolved in ecology is the survival or death of animals. It was previously virtually impossible to determine where individual animals died or where they encountered problems on their life-long journeys. Such selection events are vital to comprehending animal psychology and ecology, as only then can the manifestation of characteristics be understood as an evolutionary response to selection events. The importance of this new approach in global animal ecology made possible in part by the ICARUS technology cannot be emphasized strongly enough, as we were previously able to determine very little about the ultimate reasons for the emergence of characteristics in animals.

It is also evident in this respect that research into global animal movements has direct applications, for example, in the fields of nature conservation and the fight against global zoonotic diseases. In projects with the FAO, for example, we are examining how fruit bats move in Southeast Asia or Africa. We are thus creating the foundations for identifying the host and location of the Ebola pathogen

between outbreaks. Such knowledge is ideally achieved using sentinels which are indicator species such as fruit bats that fly over the African continent in their millions as observers of the Earth with inherent animal intelligence.

Further applications are determining Bird Flu outbreaks in parts of Southwest China. Here, ducks and geese are fitted with sensors and are then able to indicate outbreaks of disease. Here, too, ducks and geese are our best allies in the early detection of global zoonotic diseases and act as in-situ observers of the Earth, forming a global network of intelligent sensors.

**WE ARE USING TRACKING TO INVESTIGATE TWO MAJOR SCIENTIFIC ISSUES: ANIMAL DEVELOPMENT DURING YOUTH AND THE SURVIVAL AND DEATH OF INDIVIDUAL ANIMALS.**



A further example is the use of animals as sentinels for global change, including climate change. Satellite transmitters have been attached to storks at the Radolfzell ornithological station for around 30 years in order to monitor their movements. This follows on from the ringing of storks for 100 years, which was started in Rossitten on the Curonian Spit of the Baltic Sea by our predecessor ornithological station as part of the Kaiser Wilhelm Society. Today, hundreds of young storks are fitted with transmitters in the nest to help understand their development during youth, survival strategies and physiology.

On one hand, this contributes to nature conservation; on the other, also to the understanding of the evolution of bird migration in the period of climate change, as the observations of the storks ringed in 1910 can now be compared with those of 2010. Today, however, we can record their GPS positions second by second and at the same time measure the 3D wind field, wind turbulence and thermals. Such information can soon be fed into weather forecasting and climate predictions.

It has also become evident from observing storks in Africa that many feeding grounds of storks are found in areas where migratory locusts deposit their eggs. As bio-indicators, storks can therefore act as our “tracking dogs”

in identifying the largely unknown spatial distribution of the egg-deposition and larval emergence areas of one of the greatest pests known to humankind. Our measurements allow us to understand the evolution of animal movements, to protect these animals and to use the information from individual storks as environmental markers.

The applications of the new global observational technologies are now also making experiments in the wild on the evolution of bird migration possible for the first time. The partial migration of blackbirds from Spain to Russia via Germany is being observed and experimentally altered at our Institute in Jesko Partecke's Working Group. As in the traditional experiments of my predecessor Peter Berthold, birds that possess particular migratory characteristics are being bred in captivity.



**SCIENTISTS FOCUSING ON ANIMAL MIGRATION REFER TO A 'GOLDEN AGE' IN MOVEMENT ECOLOGY.**

Spanish blackbirds are resident birds, German blackbirds are partial migrants and Russian blackbirds are solely migratory birds. Groups of these blackbirds can now be put together in the Institute's aviaries to produce purely migrants or non-migrants or mixtures of these characteristics. The offspring of these blackbirds can then be released into the wild and we can observe, for the first time, how individuals from a known place of origin and a known genetic background make decisions in the wild on whether to migrate or not. The offspring of Russian migratory blackbirds can thereby be released into the wild in Germany, Spain and Russia, and the offspring of Spanish resident blackbirds can also be monitored in Germany, Spain or Russia. We are also investigating in detail the genetic and genomic basis of this behaviour through collaboration with the University of Konstanz and the MPI for Evolutionary Biology in Plön.

Using new transmitters that indicate the behaviour of blackbirds, additional parameters can be determined, such as the annual cycle of movements and orientation and navigation in the wild. This is an important advancement, as such experiments could almost exclusively only be conducted in the laboratory in the past. An additional miniaturized data logger is implanted into the blackbirds which

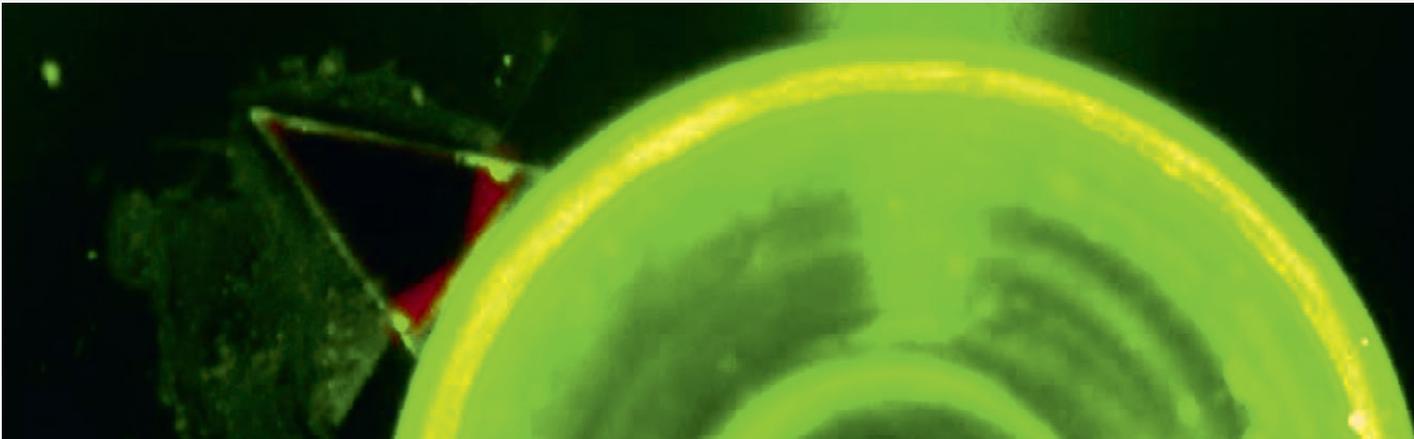
measures their energy consumption and shows how the Russian blackbirds regulate their lipometabolism during migration and afterwards in comparison to other blackbirds.

This integrated approach, from genomics to physiology to global movement and survival, now allows us, for the first time, to explore many of the major still unresolved questions concerning bird migration. The answering of such questions also improves our understanding of the biological basis of complex characteristics in the life history of organisms. There are few more important decisions in the life of an organism than leaving its home and migrating to a new continent without knowing what awaits it there.

Overall, the conceptual and technological innovations in our field of research can herald a new era in global animal ecology which has the potential to change human society. The scientists working in this field are currently talking of a 'golden age' in movement ecology. Animals will soon be our best means of observing the Earth. A global network of sophisticated, intelligent sensors – the eyes, ears and noses of animals – will provide us with information about life processes on planet Earth. The collective intelligence of the global movement and behaviour of animals will enable us to observe and forecast phenomena such as natural catastrophes that could previously not be predicted, because technical observations are outvalued by the collective sensing capacity of animals.

The tremendous value of such animal observations to human society is currently being evaluated by the World Biodiversity Council, the "Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services". Animals and humans will be brought closer together as part of this digital approach, and people will better protect and conserve animals as their "global tracking dogs". Humboldt's vision might also be able to be implemented in ecology over the next two decades.

## Quanten-Engineering mit optischer Technologie



Die Quantentechnologien versprechen technische Lösungen mit Eigenschaften, die keine andere Technologie bietet: Quantencomputer werden bestimmte Aufgaben lösen können, an denen bisher selbst Supercomputer scheitern, und die Quantenkryptographie kann nachweisbar abhörsichere Kommunikation gewährleisten. Trotz des Versprechens künftiger technischer Anwendungen sind die Quantentechnologien nach wie vor bedeutende Felder der Grundlagenforschung – und damit eine Domäne der Max-Planck-Gesellschaft, die den Namen des Entdeckers der Quantenphysik trägt. Ein wichtiger Teilaspekt ist der Beitrag der Optikwissenschaft zu den Quantentechnologien. Dies betrifft insbesondere die Themen Quantenkommunikation und -kryptographie. Von diesen Themen, die am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts in Erlangen erforscht werden, soll hier die Rede sein.

Verbunden mit der Quantenphysik ist die Heisenbergsche Unschärferelation. Die Quantenphysik erlaubt in der Regel nur Wahrscheinlichkeitsaussagen und keine präzisen Vorhersagen für Messungen an einem einzelnen Quantensystem. Dies hört sich eher nach einem Show-Stopper als nach einem Vorteil an. Doch die Tatsache, dass ein Quantensystem in einem unbekanntem Zustand durch Messungen nicht eindeutig charakterisiert werden kann, birgt andererseits auch ungeahnte Möglichkeiten. Eine Charakterisierung ließe sich nur im Mittel über viele identische Messungen bewerkstelligen, wenn genau der gleiche Zustand sehr oft präpariert und gemessen wird. Diese Eigenschaft ist einzigartig. Man findet sie nur bei Quantensystemen, und sie bietet einen unschätzbaren Vorteil: Die Grundgesetze der Natur erlauben es nicht, perfekte Kopien eines Quantensystems herzustellen.

Das bedeutet einerseits, dass bereits der Versuch einer Messung sichtbare Spuren hinterlässt: Ein unerwünschter Abhörer kann also nicht im Verborgenen werkeln. Auf der anderen Seite können zwei Quantensysteme aber trotzdem miteinander verschränkt sein. Das bedeutet, dass zwar jedes System für sich genommen sehr unscharfe Messresultate liefert, dass aber die richtigen Messungen an den beiden Systemen perfekt miteinander korreliert sein können. Nur wenn man den Wert der ersten Messung kennt, kann man die Messung am zweiten System exakt vorhersagen. Das ist eine der Grundlagen für den Quantencomputer.

Ein dritter Aspekt, der nicht nur für die Kryptographie wichtig ist, ist die Erzeugung von perfekten Zufallszahlen. Die heute von Computern erzeugten Zufallszahlen werden durch Algorithmen erzeugt und sind daher im Prinzip reproduzierbar – daher der Name „Pseudo-Zufallszahlen“. Die Zufälligkeit des Ergebnisses einer Quantenmessung aber ist nach heutigem Stand des Wissens vollkommen. Die Quantenphysik erlaubt es sogar, Aussagen darüber zu machen, ob eine zweite Partei über identische Zufallszahlen verfügen kann: Wenn ein Quantensystem in einem reinen Quantenzustand ist, dann kann es mit keinem anderen System verschränkt sein. Die Zufallszahlenreihe ist dann einzigartig.

Nun wird es höchste Zeit zu präzisieren, was ein Quantensystem ausmacht. Generell gesprochen ist ein Objekt oder „System“ dann ein Quantensystem, wenn seine Eigenschaften von der Quantenphysik dominiert werden. Beispiele dafür sind einzelne Quantenobjekte wie einzelne Photonen, einzelne Atome, einzelne Fehlstellen in einem Festkörper oder einzelne Elektronen. Aber auch in einem Ensemble vieler solcher Objekte können die Quanten-

eigenschaften dominieren: Zum Beispiel viele Millionen von Atomen, wenn sie ein Bose-Einstein-Kondensat darstellen, viele Elektronen, wenn sie in einem supraleitenden Zustand sind, oder viele Photonen, wenn sie sich wie in Laserlicht in einem kohärenten Zustand befinden.

Die Forschung am Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts (MPL) beschäftigt sich sowohl mit den Quellen, das heißt mit der Erzeugung photonischer Quantensysteme, als auch mit der Implementierung von Kommunikationsprotokollen sowie mit der Charakterisierung der Quantensysteme durch Messungen. In der Anwendung werden natürlich alle drei Aspekte benötigt. Der besondere Charme der optischen Quantentechnologien ist, dass sie die Plattform der weit fortgeschrittenen optischen Telekommunikation nutzen können, von optischen Faserverbindungen bis hin zur sogenannten kohärenten Kommunikation über Satelliten.



**QUANTENCOMPUTER WERDEN AUFGABEN LÖSEN KÖNNEN, AN DENEN BISHER SELBST SUPER-COMPUTER SCHEITERN. DIE QUANTENKRYPTOGRAPHIE KANN AUCH DANN NOCH NACHWEISBAR ABHÖRSICHERE KOMMUNIKATION GEWÄHRLEISTEN.**

Die Heisenbergsche Unschärferelation hat zur Folge, dass die Messung eines Quantensystems innerhalb gewisser Grenzen zufällige Werte liefert. Diese Zufälligkeit unterscheidet sich prinzipiell von dem aus dem Alltag bekannten Zufall, beispielsweise dem Ziehen einer Spielkarte. Die gezogene Karte erscheint uns nur deswegen zufällig, weil wir das Mischen der Karten nicht exakt nachverfolgen können. Beim Kartenspiel am Computer verbirgt sich die Erzeugung des Zufalls zwar vor unseren Augen, allerdings nutzen Computer mathematische Berechnungen, um Pseudo-Zufallszahlen zu erzeugen. Insofern scheinen auch solche Prozesse nur dann zufällig, wenn wir nicht alle Parameter der Algorithmen kennen.

Anders verhält es sich, wenn wir die Messung an einem Quantensystem zur Erzeugung von Zufall nutzen. Hier basiert der Zufall nicht auf unzureichender Kenntnis des erzeugenden Prozesses, dieser Prozess ist im Gegenteil sogar vollständig bekannt. Der Zufall entsteht durch den quantenmechanischen Messprozess selbst. Das MPL arbeitet an

der technischen Umsetzung eines solchen Zufallsprozesses unter Verwendung von Quantenzuständen des Lichts. Der Messprozess ist hierbei als sogenannte Homodyn-Messung ausgeführt. Dabei wird das eigentliche Signal mit einem starken Laserstrahl überlagert. So kann man auch ein sehr empfindliches Signal erfassen. Die Homodyn-Messung erlaubt es, an vielen identisch erzeugten Lichtzuständen den Zustand durch Mittelung präzise zu bestimmen.

Bei einer einzelnen Messung an einem Quantensystem herrscht also der Zufall. Um diesen sozusagen als perfekten Würfel auszunutzen, ist es nicht einmal notwendig, ein Lichtsignal in den Detektor zu schicken. Denn auch wenn das Signal am Eingang des Detektors „Null“ ist, wenn also der geringste mögliche Pegel vorliegt, dann gibt es immer noch die unvermeidbare Quantenunschärfe des Feldes. Führt man an diesem „Vakuumzustand“ nun eine Folge von Homodyn-Messungen durch, erhält man eine beliebig lange Reihe von echten und einzigartigen Zufallszahlen.

Die Umsetzung des Zufallszahlengenerators nach dem Homodyn-Prinzip erlaubt es, auf existierende Technologien der integrierten Optik zurückzugreifen. Dadurch ist es denkbar, die Funktionalität im Größenbereich eines USB-Sticks zu implementieren. Zusammen mit dem Austrian Institute of Technology und der Firma Roithner Lasertechnik arbeitet das MPL derzeit an einer solchen Miniaturisierung.

Quanten-Zufallszahlen-Generatoren sind bislang noch nicht weit genug entwickelt und miniaturisiert, um den breiten Massenmarkt zu erreichen. Dabei wären die Anwendungsfälle für echte, nicht vorhersagbare Zufallszahlen vielfältig. So sind beispielsweise Simulationen technischer Systeme sowie Klima- und Finanzmodelle oftmals auf Zufallszahlen hoher Qualität angewiesen. Die Verwendung von computer-generierten Pseudo-Zufallszahlen kann hierbei unbemerkt zu fehlerhaften Modellaussagen führen. Auch im Bereich Datensicherheit sind echte Zufallszahlen von unschätzbbarer Bedeutung. Die heutzutage weitreichend im elektronischen Datenverkehr eingesetzten kryptographischen Schlüssel basieren auf Zufallszahlen. Schwache Zufallszahlen erleichtern Angreifern das Handwerk und eröffnen somit unbemerkte Sicherheitslücken.

Die einmalige Verwendung von echten Zufallszahlen könnte bei Kryptographie-Systemen verhindern, dass ein Angreifer die Verschlüsselung bricht. Allerdings ist es in Ermangelung echter und einzigartiger Zufallszahlenreihen bei den bisher eingesetzten Systemen so, dass sie für ihre Schlüssel

Pseudozufallszahlen benutzen, die mittels mathematischer Methoden erzeugt werden. Die Latte kann für einen unerwünschten Abhörer dadurch sehr hoch gelegt werden, dass entsprechend viel Rechenleistung benötigt wird, um die Schlüssel zu knacken. Auf diese Weise wird aber keine absolute Sicherheit gewährleistet. Auch wenn Angreifer heutzutage noch nicht über die notwendige Rechenleistung verfügen und der Nutzer sich in Sicherheit wiegt, können Angreifer den Datenverkehr mitschneiden, um die Verschlüsselung zu einem späteren Zeitpunkt zu brechen, sobald die benötigte Rechenleistung zur Verfügung steht. Für manche sensible Daten ist dies aber einfach nicht akzeptabel.

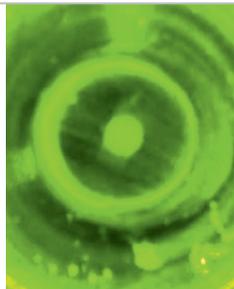
Perfekte Zufallszahlen allein reichen für eine sichere Datenübertragung nicht aus, wenn nur der Sender über sie verfügt. Der geheime Schlüssel muss zudem zwischen Sender und Empfänger ausgetauscht werden, ohne dass ein Abhörer darauf zugreifen kann. Für den Schlüsselaustausch werden heute asymmetrische algorithmische Verfahren verwendet, die unter dem Sammelbegriff „Public Key Verfahren“ fallen. Die meisten algorithmischen Verfahren zur sicheren Schlüsselverteilung sind erwiesenermaßen unsicher, sobald ein Quantencomputer mit ausreichender Größe des Quanten-Rechenregisters verfügbar sein wird. Bei anderen Verfahren ist die Sicherheit noch nicht bewiesen.

Abhilfe kann auch hier die Heisenbergsche Unschärferelation schaffen. Der Informationsaustausch zwischen zwei Parteien zur Erzeugung eines Schlüssels geschieht dann nicht mehr auf der Basis von digitalen Bits, sondern mit Hilfe von Quantenzuständen. Im Gegensatz zu digitalen Bits können Quantenzustände aufgrund der Unschärferelation nicht perfekt kopiert werden. Ein Angreifer kann somit nicht unbemerkt Informationen über den erzeugten Schlüssel abgreifen. Hier gewährleisten also physikalische Gesetze, dass kein Unbefugter verschlüsselte Kommunikation belauschen und erlangen kann. Man spricht von informationstheoretischer Sicherheit im Gegensatz zu der schwächeren Sicherheit, die auf nicht ausreichend zur Verfügung stehender Rechenleistung beruht und die oben diskutiert wurde. Mit der Quanten-Schlüsselverteilung erreicht man beides: Sie liefert perfekte Zufallszahlen und es wird eine informationstheoretisch sichere Schlüsselverteilung erreicht.

Es gibt verschiedene quantenoptische Methoden zur Umsetzung eines Quanten-Schlüsselaustauschs. Die bekannteste Methode arbeitet mit diskreten Lichtteilchen, den Photonen. Diese Methode ist in den letzten 30 Jahren weltweit in zahlreichen theoretischen Arbeiten und Experimen-

ten erforscht worden. Bei der Umsetzung in die Praxis sind allerdings mehrere Herausforderungen deutlich geworden: Die Einzelphotonen-Methode benötigt speziell entwickelte Hardware, die sich nicht ohne weiteres in bestehende Telekommunikations-Infrastruktur integrieren lässt. Synergieeffekte mit der weit verbreitenden optischen Datenkommunikation sind dadurch eher gering. Anders verhält es sich bei der vergleichsweise neueren Quantenkommunikation mit kontinuierlichen Variablen, die unter anderem am MPL entwickelt wird. Anstelle von diskreten Lichtteilchen basiert diese Methode auf Eigenschaften von Lichtwellen, die anders als deren Energie kontinuierlich veränderlich sind, wie beispielsweise die Amplitude – also die Auslenkung der Wellen. Die Heisenbergsche Unschärferelation erlaubt dabei nicht nur die Erzeugung von echtem Zufall, sondern auch dessen Verteilung zwischen zwei entfernten Parteien. Auf Basis dieses verteilten Zufalls lässt sich dann ein geheimer Schlüssel erzeugen.

**DER BESONDERE CHARME DER OPTISCHEN QUANTENTECHNOLOGIEN IST ES, DASS SIE DIE PLATTFORM DER WEIT FORTGESCHRITTENEN OPTISCHEN TELEKOMMUNIKATION NUTZEN KÖNNEN.**



Die Schlüsselverteilung mit kontinuierlichen Variablen lässt sich im Wesentlichen unter Verwendung von herkömmlichen optischen Telekommunikations-Komponenten umsetzen und daher auch einfach in bestehende Kommunikations-Netze integrieren. Der Unterschied zwischen der weit verbreiteten optischen Kommunikation und der Quantenkommunikation besteht dann vor allem in der Rolle, die die Unschärferelation spielt. Während die Quantenunschärfe in der optischen Datenkommunikation als Störung zu fehlerhafter Übertragung führen kann, wird sie in der Quantenkommunikation bewusst ausgenutzt, um einen geheimen Schlüssel zu erzeugen.

Die Quantenschlüsselverteilung mit kontinuierlichen Variablen ist darüber hinaus auch sehr unempfindlich gegenüber Störeinflüssen anderer Lichtquellen. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, Quantenkommunikation parallel zur optischen Datenkommunikation ohne gegenseitige Beeinflussung zu

betreiben. An der Umsetzung dieses Verfahrens in Glasfasernetzen außerhalb des Labors arbeitet das MPL zusammen mit Firmen aus den Bereichen Informationstechnik und Datensicherheit.

Neben der Übertragung durch optische Glasfasern benötigen Kommunikationsnetze auch Freiraumkanäle, also Kanäle für die Übertragung durch Luft oder Vakuum, beispielsweise um mit beweglichen Objekten zu kommunizieren. Das MPL ist weltweit führend in der Übertragung von kontinuierlichen Quantenzuständen durch die Atmosphäre. Es konnte gezeigt werden, dass selbst empfindliche Quanteneigenschaften die Reise durch eine turbulente Atmosphäre relativ unbeschadet überstehen können. Unter Einsatz einer speziell hierfür entwickelten Technik, die unter anderem auf dem Homodyn-Verfahren basiert, wurden kontinuierliche Quantenzustände über eine Strecke von 1,6 km über den Häusern und Straßen von Erlangen verschickt.

Die bereits demonstrierten Entfernungen scheinen zunächst keinen Vorteil zu bieten, wenn man sie mit der Länge der Strecken vergleicht, für die Quantenkommunikation in Glasfasern demonstriert wurde. Aber auf dem Weg nach oben zu einem Satelliten kommt man sehr schnell aus der Atmosphäre heraus. Die atmosphärischen Störungen auf diesem Weg sind nur etwa dreimal so groß wie auf der 1,6 km langen Demonstrationsstrecke. Der Erfolg der Machbarkeitsstudie deutet daher darauf hin, dass diese Technik auch über größere Übertragungstrecken eingesetzt werden kann, wenn die Übertragung über Satelliten läuft.



**WIR ARBEITEN GEMEINSAM MIT PARTNERN AN DER  
MINIATURISIERUNG EINES QUANTEN-ZUFALLS-  
ZAHLEN-GENERATORS. DIE ANWENDUNGEN FÜR  
ECHTE ZUFALLSZAHLEN SIND VIELFÄLTIG.**

Weltweit gibt es derzeit das ambitionierte Ziel, Quantenkommunikation über Satelliten zu betreiben. Insbesondere China und Japan, aber auch Kanada investieren in großem Maßstab in solche Vorhaben. Dies hat den folgenden Grund: Bisher funktioniert Quantenschlüsselverteilung in Glasfaserkabeln über Entfernungen, die für Großstädte ty-

pisch sind. Doch die Anbindung dieser Großstädte an ein weltweites Quanten-Netzwerk ist derzeit über Glasfaserverbindungen nicht praktikabel. Im Gegensatz zur optischen Datenkommunikation können Quantenzustände nämlich nicht zwischenverstärkt werden – eine klassische Verstärkung entspricht im Prinzip einem Kopieren der Information, was bei der Quanteninformation grundsätzlich nicht geht.

Optische Freiraumverbindungen im Weltall können hingegen aufgrund der wesentlich geringeren Signalverluste ohne Zwischenverstärker auskommen und damit wesentlich größere Strecken überbrücken. Satelliten mit Fähigkeiten zur Quantenkommunikation sind sowohl aus Sicht von zukünftigen Anwendungen als auch für die Grundlagenforschung sehr interessant. Auf der Anwendungsseite können Satelliten das Rückgrat für den weltweiten Austausch von Quantenschlüsseln bilden.

Neben dieser anwendungsbezogenen Perspektive eröffnet die Quantenkommunikation mit Satelliten auch ganz neue Möglichkeiten in der Grundlagenforschung. Zurzeit wird darüber spekuliert, dass Quantenkommunikation und Quanten-Informationsverarbeitung vom Gravitationsfeld auch auf eine bisher nicht bekannte Weise beeinflusst werden, und dass sich dies zukünftig bei Anwendungen mit erhöhter Empfindlichkeit bemerkbar machen könnte. Dafür gibt es bereits erste theoretische Ansätze. Experimentelle Daten, die mittels satellitenbasierter Quantenkommunikation gewonnen werden, könnten wichtige Impulse geben.

Auch im Bereich der Satellitenkommunikation profitieren Methoden, die auf kontinuierlichen Variablen beruhen, von bereits entwickelter Technologie zur optischen Datenkommunikation. Die deutsche Firma Tesat-Spacecom hat zusammen mit dem Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ein System zur optischen Datenkommunikation mit Satelliten entwickelt. Es basiert im Wesentlichen auf denselben Methoden wie sie am MPL Erlangen für die Quantenkommunikation mit kontinuierlichen Variablen eingesetzt werden. Dadurch ergibt sich bereits bei existierenden Satelliten-Systemen die Option, sie für Quantenkommunikation aufzurüsten. Mit diesem Ansatz sattet die Umsetzung von satellitenbasierter Quantenkommunikation auf bereits vorhandenen Investitionen auf und bedarf keiner so kostenintensiven Neuentwicklungen, wie sie in anderen Ländern getätigt werden.

In Zusammenarbeit mit Tesat-Spacecom und dem DLR evaluiert das MPL derzeit diesen Ansatz mittels Testmessun-

gen an optischen Satellitenverbindungen, die seit kurzem bestehen. Aus diesen Messungen können die optimalen Betriebsparameter für satellitenbasierte Quantenkommunikation bestimmt werden, so dass künftige Satelliten-Systeme entsprechend aufgerüstet werden können.

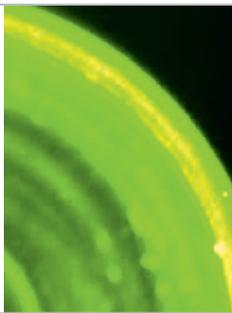
Die Heisenbergsche Unschärferelation bezieht sich auf zwei „komplementäre“ Größen wie beispielsweise den Ort und die Geschwindigkeit. Es ist physikalisch erlaubt, die Unschärfe in einer der beiden Größen zu reduzieren, allerdings auf Kosten einer größeren Unschärfe in der komplementären Größe. Man spricht hier bildlich vom Quetschen der Unschärfe, wie vom Quetschen eines Luftballons in einer Richtung, der sich dann aber senkrecht dazu ausdehnt. Dieses Konzept lässt sich auch auf Lichtstrahlen anwenden und kann dort die Messgenauigkeit erheblich steigern. Gequetschte Lichtstrahlen können die Empfindlichkeit von Interferometern erhöhen und gehören beispielsweise zum Repertoire der Betreiber von Gravitationswellen-Detektoren, denen kürzlich der große Durchbruch gelungen ist.

Im Bereich Quantenkommunikation eröffnen sich durch das Quetschen von Lichtzuständen bisher kaum genutzte Parameter zur Steigerung der Effizienz. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass gequetschtes Licht besonders empfindlich gegenüber Signalstörungen ist, wie sie gerade bei der Übertragung durch die Atmosphäre auftreten können. Das MPL hat daher eine Quelle für gequetschtes Licht entwickelt, deren Licht relativ unempfindlich gegenüber diesen Störungen ist. Der Nachweis der Eignung dieser Quelle konnte über die 1,6 km lange Teststrecke durch Erlangen erbracht werden.

In bestimmten Quantenkommunikations-Szenarien ist der Einsatz von einzelnen Photonen nach wie vor vorteilhaft. Damit verbunden ist allerdings ein höherer Entwicklungsaufwand für die entsprechenden Quellen. Ziel ist es daher, kompakte, stabile und gut einstellbare Quellen für Einzelphotonen zu entwickeln. Die Optik kann sich hierbei eines Prinzips bedienen, das in der Akustik schon längere Zeit bekannt ist: die Flüstergalerie.

Bekannte akustische Flüstergalerien befinden sich beispielsweise in den Kuppeln der St.-Pauls-Kathedrale in London oder des Petersdoms in Rom und der Jameh Moschee in Isfahan. Schallwellen können sich dort entlang der Kuppelwände ausbreiten, so dass Flüstern auf der einen Seite der Kuppel auf die andere Seite fokussiert und dort gut hörbar ist. Dieses akustische Prinzip lässt sich auf Lichtwellen übertragen. Optische Flüstergalerie-Resonatoren werden

am MPL in hoher Qualität hergestellt, so dass sie sich für die effiziente Erzeugung von Einzelphotonen eignen. Die Wellenlänge der Photonen ist dabei einerseits schmalbandig, es entspricht also fast einer fest definierten Wellenlänge und damit einer reinen Lichtfarbe. Andererseits lässt sich in einem großen Wellenlängen-Bereich einstellen. Aufgrund dieser Eigenschaften eignet sich die Photonen-Quelle für vielfältige Anwendungen sowohl in der Quanteninformationstechnologie als auch in den Lebenswissenschaften.



**QUANTENKOMMUNIKATION ÜBER SATELLITEN ZU BETREIBEN, IST DERZEIT NOCH EIN AMBITIONIERTES ZIEL. MEHRERE STAATEN INVESTIEREN JEDOCH IN GROSSEM MASSTAB IN DERARTIGE PROJEKTE.**

#### SCHLUSSBEMERKUNG

Die Quantentechnologie im Allgemeinen und die photonische Quantentechnologie im Besonderen bieten der Anwendung bislang nicht gekannte Möglichkeiten, die auf den gewöhnungsbedürftigen Konzepten der Quantenphysik beruhen. Dazu muss die Quantentechnologie anwendungstauglich gemacht werden und Ausbildungsprogramme müssen entsprechend angepasst werden.

Die Bedeutung dieser Entwicklung, die gerade begonnen hat, unterstreicht eine Studie, die 2015 die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina unter der Federführung von Wolfgang Schleich in Abstimmung mit den Partner-Akademien herausgegeben hat. Dort werden die Grundlagen der Quantentechnologie und die neuen Möglichkeiten, die durch sie eröffnet werden, einem breiteren Publikum vorgestellt. Die Max-Planck-Gesellschaft hat zudem einen Film zum Thema produziert:

<https://www.youtube.com/watch?v=TkN1N6IDypo>

Wir danken Frau Ulrike Bauer-Buzzoni für die sorgfältige Durchsicht des Manuskripts und die vielen hilfreichen Hinweise.

DOMINIQUE ELSE, CHRISTOPH MARQUARDT AND GERD LEUCHS  
MAX PLANCK INSTITUTE FOR THE SCIENCE OF LIGHT, ERLANGEN

## Quantum engineering with optical technology

Quantum engineering promises technical solutions with perspectives, which no other technology can offer: Quantum computers will be able to solve problems that still flummox supercomputers today, and quantum cryptography ensures verifiably secure communications. Despite the promise of future technological applications, quantum technologies are still important fields of basic research – and therefore the domain of the Max Planck Society, which was named after the discoverer of quantum physics. An important aspect is the contribution of optical sciences to quantum technologies. This relates in particular to the fields of quantum communication and cryptography. These two fields, which are being investigated at the Max Planck Institute for the Science of Light in Erlangen, are the subject of this article.



**QUANTUM COMPUTERS WILL BE ABLE TO RESOLVE SPECIAL TASKS THAT EVEN SUPERCOMPUTERS FAIL AT. QUANTUM CRYPTOGRAPHY CAN VERIFIABLY ENSURE TAP-PROOF COMMUNICATIONS.**

At the heart of quantum physics is Heisenberg's uncertainty principle. Generally speaking, quantum physics only yields information about probabilities but no precise predictions for measurements on a given single quantum system. This sounds more like a show-stopper than an advantage. However, the fact that a quantum system in an unknown state cannot be unambiguously characterized by measurements also opens up unimagined possibilities. A system can only be characterized by averaging over many identical measurements, provided that the exact same state is prepared and measured very often. This property is unique. It is found only in quantum systems, and it provides an invaluable advantage, namely that the basic laws of nature make it impossible in general to generate perfect copies of a quantum system the state of which is unknown to the observer.

On the one hand, this means that any attempt to carry out measurements will leave visible traces, meaning that an eavesdropper is unable to listen in to a conversation and not being discovered. On the other hand, two quantum systems can still be entangled. This means that although independent

measurements of each system are very imprecise, suitable measurements of the two systems taken together can be perfectly correlated. Only if the value of the first measurement is known then it is possible to predict the outcome of a measurement on the second system precisely. This is one of the principles underlying the concept of a quantum computer.

A third aspect, which is important for cryptography, among other applications, is the generation of perfectly random numbers. Random numbers produced by computers today are generated by means of algorithms and can therefore be reproduced in principle – hence, the term “pseudo-random” numbers indicating the restriction. By contrast, according to the current state of knowledge, the randomness of the result of a quantum measurement is absolute. Quantum physics even allows conclusions to be drawn as to whether a second party might have identical random numbers: If a quantum system is in a pure quantum state, it cannot be entangled with any other system. The random number sequence is then unique.

At this point, a definition is needed of exactly what constitutes a quantum system. Generally speaking, an object or “system” is a quantum system if its properties are dominated by quantum physical effects. Examples include individual quantum objects such as single photons, single atoms, single vacancy centres in a solid or single electrons. However, even in a collection of many such objects, quantum properties can still dominate: for example a system comprising many millions of atoms if they form a Bose-Einstein condensate, a group of electrons if they are in a superconducting state, or a collection of photons if they are in a coherent state, as in laser light.

Research at the Max Planck Institute for the Science of Light (MPL) deals with the sources, i.e. the generation of photonic quantum systems, as well as the implementation of communication protocols and the characterization of quantum systems by measurements. Of course, all three aspects are needed for applications. The beauty of optical quantum technologies is that they can take advantage of the platform of highly advanced optical telecommunication used in optical fibre links or realized in coherent satellite-based communication.

One consequence of the Heisenberg uncertainty principle is that, within certain limits, the measurement of a quantum system results in random values. This randomness is fundamentally different from the randomness we are familiar

with in everyday life, for example the drawing of a playing card. The drawn card only seems random because we cannot precisely track how the cards were shuffled. When we play cards on the computer, randomness generation is hidden from our eyes even more. Computers use deterministic mathematical calculations to generate pseudorandom numbers. Such processes appear random only if we do not know all the parameters of the algorithms.

The situation is different if we use the measurement of a quantum system to generate randomness. In this case, the randomness is not based on insufficient knowledge of the generating process. On the contrary, the evolution of a quantum system is fully deterministic. The randomness arises from the quantum-mechanical measurement process itself. At MPL we are working on the technical implementation of such a random process using quantum states of light. The measurement process in this case is performed as a homodyne measurement, meaning that the actual signal is interfered with a bright laser beam. In this way it is even possible to highly sensitively detect very small signals. Homodyne measurements on many identically generated light states allow one to precisely determine this state.

For a single measurement on a quantum system, however, randomness prevails. To exploit this as a perfect set of dice, it is not even necessary to send a light signal into the detector. Even if the signal at the input of the detector is “zero”, i.e. when the lowest possible level is present, the unavoidable quantum uncertainty of the field remains. If we now repeatedly carry out homodyne measurements on many identically prepared signals of this type, we obtain an arbitrarily long series of truly and uniquely random numbers.

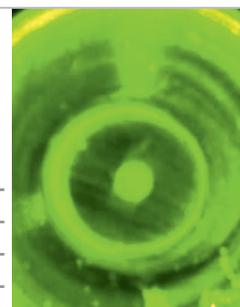
The implementation of a random number generator based on the homodyne principle makes it possible to largely utilize existing integrated optical technologies. This makes it feasible to implement the device on the scale of a USB memory stick. The MPL is currently working on such miniaturization in collaboration with the Austrian Institute of Technology and the company Roithner Lasertechnik.

Quantum random number generators are not yet sufficiently advanced and miniaturized to enter the mass market. Nevertheless, there are many applications that require true, unpredictable random numbers; for example, simulations of technical systems as well as climate and financial models often have to rely on random numbers of a high quality. In such applications, the use of computer-generated pseudorandom

numbers can lead to unnoticed errors. Truly random numbers are also of crucial importance in the field of data security. For example, the cryptographic keys that are most widely used in data communication are based on random numbers. Poorly random numbers make the life of hackers easier.

The one-time use of truly random numbers could prevent an attacker from breaking the code of cryptography systems. However, for lack of truly and uniquely random number series, today's systems have to use pseudorandom numbers for their keys, and these are generated by deterministic mathematical methods. This may set the bar very high for eavesdroppers if a great deal of computing power is required to crack the key, but it cannot guarantee absolute security. Although attackers do not yet have the necessary computing power and users can be lulled into a sense of security, attackers can in fact tap into the traffic with a view to breaking the encryption at a later date once the required computing power becomes available. For highly sensitive data this is simply unacceptable.

**THE GREAT APPEAL OF OPTICAL QUANTUM TECHNOLOGIES IS THEIR ABILITY TO USE THE PLATFORM OF HIGHLY ADVANCED OPTICAL TELECOMMUNICATIONS.**



Perfectly random numbers are not in themselves sufficient to ensure reliable data transfer if only the sender has them. The secret key must also be exchanged between the sender and the receiver in such a way that an eavesdropper is unable to intercept it. At present, asymmetric algorithmic techniques, generally known as public key methods, are used to exchange keys. It has been shown that some popular algorithmic methods for secure key distribution will become insecure as soon as a quantum computer with a sufficiently large quantum-computing register becomes available. But even without quantum computers being available, none of the non-quantum key distribution protocols are absolutely secure in the sense that no mathematical proof of security is known.

The Heisenberg uncertainty principle comes into play here, too. In the quantum era, the exchange of information between two parties to generate a key will no longer be done on the basis of classical digital bits, but with the aid of quantum states. Unlike digital bits, quantum states cannot be copied perfectly due to the uncertainty principle. Thus, an attacker cannot intercept information about the generated key unnoticed. The laws of physics ensure that no unauthorized person is able to eavesdrop on and obtain encrypted communications. This is referred to as information-theoretic security in contrast to the aforementioned weaker security based on the current unavailability of sufficient computing power. Quantum key distribution achieves both: it delivers perfect random numbers and achieves information-theoretic security for key distribution.



**WE ARE COLLABORATING WITH PARTNERS ON THE MINIATURIZATION OF A QUANTUM RANDOM NUMBER GENERATOR. TRULY RANDOM NUMBERS CAN BE USED IN A WIDE RANGE OF APPLICATIONS.**

A number of quantum optical methods are available for implementing a quantum key exchange. The best-known method uses discrete particles of light called photons. This method has been extensively studied and developed, theoretically and experimentally, around the world over the past 30 years. In practice, however, several challenges have emerged: the single-photon method requires specially developed hardware, which cannot be easily integrated into existing telecommunication infrastructures. Consequently, synergies with currently widespread optical data communication systems tend to be small. The situation is different with the relatively newer quantum communication using continuous variables that is being developed by the MPL and others. Instead of discrete particles of light, this method is based on certain properties of light waves, which, unlike their energy, are continuous variables, e.g. the amplitude of the waves. The Heisenberg uncertainty principle not only allows for the generation of true randomness but also facilitates its distribution between two distant parties. A secret key can then be produced based on this distributed randomness.

Key distribution with continuous variables can be implemented using largely conventional optical telecommunication components and can therefore be easily integrated into existing communication networks. The main difference between widespread optical communication and quantum communication is the role played by the uncertainty principle. Whereas quantum uncertainty, as a disturbing factor, can lead to errors in optical data communication, it is deliberately exploited in quantum communication to generate a secret key.

Quantum key distribution with continuous variables is also highly insensitive to disturbance from other light sources. This makes it possible to operate quantum communication systems in parallel with bright optical systems without mutual interference. The MPL is working with companies in the fields of information technology and data security to realize this method in real-life optical fibre networks.

Besides transmission through optical fibres, communication networks also require free-space channels, i.e. channels for transmission through air or vacuum, for example to communicate with moving objects. The MPL is a world leader in the transmission of continuous variable quantum states through the atmosphere. It has been shown that even sensitive quantum properties can survive the journey through the turbulent atmosphere relatively intact. Using a specially developed technique based on, among other things, the homodyne method, continuous quantum states have been transmitted over a distance of 1.6 km above the houses and streets of Erlangen.

At first glance, the distances achieved appear to be much too small to compete with the distances achieved with quantum communications through optical fibres. But the line of sight towards a satellite, overlaps only little with the atmosphere. Atmospheric disturbance along this path is only around three times as large as along the 1.6-kilometre demonstration route. The success of the feasibility study therefore suggests that this technique can also be used over transcontinental distances provided that the transmission is relayed by satellites.

Researchers around the world are pursuing the ambitious goal of operating satellite-based quantum communication. China and Japan, but also Canada are investing in such projects on a major scale for the following reason: At present, quantum key distribution has been successful in optical fibre cables over distances that are typical within big cities. But it

is currently impractical to integrate cities in a global quantum network over fibre optic links. Unlike optical data communication, quantum states cannot be amplified along the way. Conventional amplification is tantamount to copying the information, which is fundamentally impossible in the case of unknown quantum information.

By contrast, optical links in space do not require intermediate amplifiers because of the significantly lower signal losses and can therefore bridge substantially greater distances. Satellites with quantum communication capabilities are very interesting both from the perspective of future applications and for fundamental research. From a practical point of view, satellites can provide the backbone for the global exchange of quantum keys.

In addition to these application-oriented perspectives, satellite-based quantum communication opens up new horizons in fundamental research. It is speculated that quantum communication and quantum information processing are affected by the earth's gravitational field in a still unknown way and that this might become noticeable in future highly sensitive applications. Preliminary theoretical approaches are already available. Experimental data obtained by satellite-based quantum communication could act as an important stimulus.

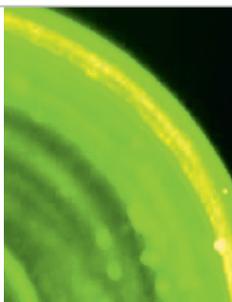
Methods based on continuous variables benefit from the currently available technology of optical data communications also in the field of satellite communications. The German company Tesat-Spacecom together with the German Aerospace Center (DLR) has developed a system for optical data communication with satellites. The system is essentially based on the same methods as those used at MPL Erlangen for quantum communication with continuous variables. Thus, the option exists to upgrade existing satellite systems to handle quantum communication. With this approach, the realization of satellite-based quantum communication can build on existing investments and will not require as much expenditure for new developments as in other projects.

In cooperation with Tesat-Spacecom and DLR, the MPL is currently evaluating this approach by conducting test measurements on optical satellite links that have recently been installed. These measurements can be used to determine the optimum operating parameters for satellite-based quantum communication so that future satellite systems can be upgraded accordingly.

The Heisenberg uncertainty principle relates to two “complementary” variables, such as position and velocity. Physics allows to reduce the uncertainty in one of the two variables, but at the cost of greater uncertainty in the complementary variable. This is referred to figuratively as squeezing the uncertainty like squeezing a balloon in one direction so that it stretches in the perpendicular direction. This concept can also be applied to light beams and can increase the accuracy of measurements significantly. Squeezed light can enhance the sensitivity of interferometers and belongs to the repertoire of the scientists operating gravitational wave detectors who have recently achieved a major breakthrough.

In the field of quantum communication, the squeezing of light states opens up hitherto largely unused means to boost efficiency. However, it should be noted that squeezed light is particularly sensitive to signal degradation, as the one which can occur during transmission through the atmosphere. MPL has therefore developed a source of squeezed light that is relatively insensitive to such degradation. The suitability of this source has been demonstrated over a 1.6-kilometre test track in Erlangen.

**OPERATING QUANTUM COMMUNICATIONS VIA SATELLITE CURRENTLY STILL REMAINS AN AMBITIOUS OBJECTIVE. SEVERAL COUNTRIES ARE NEVERTHELESS INVESTING HEAVILY IN SUCH PROJECTS.**



In certain quantum communication scenarios, the use of single photons is still advantageous. This is, however, associated with higher development costs for suitable sources. The aim is therefore to develop compact, stable and highly tuneable sources of single photons. A principle that has long been known in acoustics, the whispering gallery, can also be exploited in optics.

Well-known acoustic whispering galleries can be found e.g. in the domes of St. Paul's Cathedral in London, St. Peter's Basilica in Rome and Jameh Mosque at Isfahan. Sound waves travel along the dome's inner walls so that a whisper on one side of the dome is focused to and audible on the

other side. This acoustic principle can also be applied to light waves. MPL develops high-quality optical whispering-gallery resonators that are suitable for the efficient generation of single photons. On the one hand, the wavelength of the photon falls within a narrow band that approximates a well defined discrete wavelength and therefore a pure light colour; on the other hand, the wavelength can be adjusted over a broad range. Given these properties, the photon sources are suitable for many applications e.g. in quantum information technology and in the life sciences.

### **CLOSING REMARKS**

Quantum technology in general and photonic quantum technology in particular have created hitherto unknown opportunities based on the counterintuitive concepts of quantum physics. To this end, quantum technology must be made suitable for use, and training programmes must be modified accordingly.

The significance of this development, which is still in its infancy, is highlighted by a study published in 2015 by the German National Academy of Sciences Leopoldina under the chairmanship of Wolfgang Schleich and in cooperation with partner academies. It presents the fundamentals of quantum technology and the new opportunities that it is creating to the wider public. The Max Planck Society has also produced a film on the subject which is publicly available:  
<https://www.youtube.com/watch?v=3sheEy1rNGI>

We thank Ulrike Bauer-Buzzoni for carefully proof reading the manuscript.

## Europäische Solidarität für Flüchtlinge?



Die Verträge, auf denen die Europäische Union (EU) rechtlich gründet, kennen ein „gemeinsames europäisches Asylsystem“. Wer die nicht enden wollenden Berichte in den Medien über das Gerangel um Grenzschließungen und Aufnahmequoten zwischen den EU-Mitgliedstaaten verfolgt, wird davon eher überrascht sein. Denn in der Praxis ist weder von einem „System“ noch von einer „europäischen“ Reaktion auf die Ankunft von Flüchtlingen etwas zu spüren. Die Zahl derer, die in Europa Schutz suchen, steigt seit 2010. Sie hat im letzten Jahr einen vorläufigen Höhepunkt erreicht. 2015 wurden in der EU knapp 1.120.000 Asylanträge gestellt, davon in Deutschland, wohin alleine mehr als eine Million Menschen geflohen sein sollen, knapp 442.000.

Von einer „Flüchtlingskrise“ ist allgemein die Rede, und das bezieht sich nicht nur auf die steigende Nachfrage nach Schutz, sondern ganz offensichtlich auf die Schwierigkeiten, darauf angemessen zu reagieren. Auch wenn es reichlich übertrieben ist, den Staatsnotstand auszurufen und von einer Herrschaft des Unrechts zu sprechen: Ein Versagen des Europäischen Asylsystems lässt sich nicht übersehen. Das hat seine Gründe, die weitgehend in den systemischen Schwächen der geltenden Regeln begründet sind. Ob sie behoben werden können, erscheint zweifelhaft – zumindest zu der Zeit, zu der dieser Bericht geschrieben wird. Angesichts des Reformdrucks mag sich im Zeitpunkt, in dem diese Zeilen gelesen werden, eine Lösung abzeichnen oder gar vereinbart worden sein. Wie auch immer sie aussieht: Wesentliche Bedeutung kommt der Frage zu, wie die Aufnahmebedingungen für Flüchtlinge aussehen, insbesondere in welchem Umfang ihnen soziale Rechte eingeräumt werden.

Vorweg ist es allerdings wichtig, etwas begriffliche Klarheit zu schaffen – zumal es daran in der öffentlichen Diskussion oft mangelt. Dabei geht es weniger um sprachliche Präzision als um eine eindeutige Erfassung verschiedener Personengruppen. Das ist wichtig, weil die Rechte im Aufenthalt von den Rechten auf Aufenthalt abhängen, und die Aufenthaltsrechte wiederum von dem Status ausländischer Personen. Prinzipiell werden zwei Gründe unterschieden, auf denen die Gewährung von Schutz für Ausländer beruhen kann: Erstens die Flüchtlingseigenschaft, die sich nach der Genfer Flüchtlingskonvention von 1951 (mit Protokoll von 1976) richtet und voraussetzt, dass eine Person „aus der begründeten Furcht vor Verfolgung wegen ihrer Rasse, Religion, Nationalität, Zugehörigkeit zu einer bestimmten sozialen Gruppe oder wegen ihrer politischen Überzeugung sich außerhalb des Landes befindet, dessen Staatsangehörigkeit sie besitzt“ (Art. 1 A Nr. 2 GFK). Dieser Begriff deckt sich weitgehend mit dem des „politisch Verfolgten“, der nach dem Grundgesetz Recht auf Asyl besitzt (Art. 16a Abs. 1 GG). Zweitens der sogenannte „subsidiäre Schutz“. Er umfasst Fälle, in denen die Flüchtlingseigenschaft nicht gegeben ist, weil insbesondere keine bestimmte Verfolgungsmotivation vorliegt, aber Personen „tatsächlich Gefahr laufen“, einen „ernsthaften Schaden“ in ihrer Heimat zu erleiden. Das schließt „eine ernsthafte individuelle Bedrohung des Lebens oder der Unversehrtheit einer Zivilperson infolge willkürlicher Gewalt im Rahmen eines internationalen oder innerstaatlichen bewaffneten Konflikts“ ein. Beide Schutzgründe werden heute als „internationaler Schutz“ bezeichnet, weil traditionell der Begriff „Asyl“ Flüchtlingen im engeren Sinn vorbehalten ist.

Präzise wäre es deshalb, einerseits von Asylberechtigten und andererseits von subsidiär Schutzberechtigten zu sprechen. Außerdem muss danach unterschieden werden, ob jemand erst einen Schutz beantragt oder schon erhalten hat. Für die Dauer des Verfahrens ist das Aufenthaltsrecht unklar und folgt (nur) aus der Notwendigkeit, die Schutzberechtigung zu überprüfen. Antragsteller sind also zunächst Asylbewerber oder Schutzsuchende. Wird entsprechend differenziert, kann dem allgemeinen Sprachgebrauch entsprechend das Wort Flüchtlinge als Oberbegriff verwendet werden, der alle Schutzberechtigten und Schutzsuchenden einschließt.

Das eingangs angesprochene „gemeinsame europäische Asylsystem“ beruht auf vier Pfeilern, die erstmals um die Jahrtausendwende geschaffen und in den letzten Jahren, d.h. vor dem starken Anstieg der Flüchtlingszahlen – zumindest größtenteils –, renoviert worden sind. Sie betreffen an sich alle wesentlichen Aspekte der Schutzgewährung. Da ist zunächst die sog. Qualifikationsrichtlinie (RL 2011/95). In ihr werden die Voraussetzungen für den internationalen Schutz ebenso festgelegt wie grundlegende Rechte, die mit der Verleihung eines Schutzstatus verbunden sind. Zweitens existiert eine Verfahrensrichtlinie (RL 2013/32), die Bestimmungen über das Verfahren zur Verleihung und Aberkennung der Schutzberechtigung enthält. Drittens werden in einem eigenen Rechtsakt, der Aufnahme richtlinie (RL 2013/33), die Aufnahmebedingungen für Schutzsuchende bestimmt. Viertens und schließlich ist zu klären, welcher Mitgliedstaat in der EU für die Prüfung von Schutzanträgen zuständig ist. Das regelt die mittlerweile sehr bekannt gewordene Dublin III-Verordnung (VO 604/2013), die flankiert wird durch Anforderungen an die Registrierung von Schutzsuchenden (sog. Eurodac-Verordnung 203/2013).

Obwohl mit den genannten Rechtsvorschriften eine Einheitlichkeit zumindest in grundlegenden Fragen erreicht worden sein sollte, funktionieren sie in der Praxis nicht. Da ist zum einen die von Mitgliedstaat zu Mitgliedstaat sehr unterschiedliche Auslegung der Schutzvoraussetzungen. Sie kommt darin zum Ausdruck, dass die Anerkennungsquoten für Schutzsuchende aus bestimmten Herkunftsstaaten innerhalb der EU stark schwanken – was kaum alleine mit individuellen Besonderheiten in den zu entscheidenden Fällen erklärt werden kann. Sehr viel gravierender sind die Schwächen des sog. Dublin-Systems. Lange Zeit konnten sich die in der Mitte Europas gelegenen Staaten darauf verlassen, dass sie keine Flüchtlinge aufnehmen mussten. Denn zuständig sind primär die Staaten, in denen ein Flüchtling einreist, also die an den Außengrenzen gelegenen Staaten. Mit der zunehmenden Zahl an Flüchtlingen wollten oder konnten die Grenzstaaten diese Verpflichtung nicht mehr erfüllen. In einem Raum der offenen Binnengrenzen, dem sog. Schengen-Raum, führte diese Situation zu einer weitgehend ungesteuerten Zuwanderung. Das ist der Grund, warum einige Länder wie Schweden, Österreich und die meisten Balkanstaaten ihre Grenzen schließen und damit eine Wanderung innerhalb der EU zu unterbinden oder zu beschränken versuchen. Dass dies wiederum zu schwer erträglichen Situationen in den Grenzstaaten führt, ist nicht zu übersehen.

Die Schwierigkeit der gegenwärtigen Situation liegt darin, dass auch in der Asylpolitik nicht weniger, sondern „mehr Europa“ gebraucht würde. Der Zustand des „Gemeinsamen Europäischen Asylsystems“ erinnert nicht umsonst an den des Euro als zentralen Bestandteil der europäischen „Wirtschafts- und Währungsunion“. Hier wie dort gilt, dass manche Grundlagen, die für das Funktionieren einer gemeinsamen Politik unerlässlich sind, nicht vergemeinschaftet worden sind. Im Zusammenhang mit der Aufnahme von Flüchtlingen muss insbesondere die Sicherung der Außengrenzen als gemeinsame Aufgabe aller Mitgliedstaaten begriffen werden. Darüber hinaus wäre es erforderlich, gemeinsam eine Verantwortung für die Aufnahme von Flüchtlingen zu übernehmen.

Gerade in einer Situation wie sie gegenwärtig gegeben ist, nämlich bei der durch einen Bürgerkrieg in einer angrenzenden Region ausgelösten Massenflucht, steht mit der Vereinbarung von Kontingenten ein besonders geeignetes Mittel zur Verfügung. Denn solche Kontingente erlauben den Flüchtlingen eine sichere Einreise und entlasten in den Aufnahmestaaten die Behörden und Gerichte von aufwendigen Verfahren der Einzelfallprüfung. Tatsächlich existiert dafür



**DIE SCHWIERIGKEIT DER GEGENWÄRTIGEN SITUATION LIEGT DARIN, DASS AUCH IN DER ASYL-POLITIK NICHT WENIGER, SONDERN „MEHR EUROPA“ GEBRAUCHT WIRD.**

in der EU eine eigene Rechtsgrundlage, nämlich die Richtlinie über temporären Schutz (RL 2001/55). Schon in ihrem langen Namen steht, dass sie auch „einer ausgewogenen Verteilung der Belastungen, die mit der Aufnahme dieser Personen und den Folgen dieser Aufnahme verbunden sind, auf die Mitgliedstaaten“ dient. Über eine solche Verteilung konnte aber innerhalb der EU keine Einigkeit erzielt werden. Deshalb läuft die Richtlinie leer und ist bis heute nicht angewendet worden.

Wie auch immer die Aufnahme von Flüchtlingen in der EU gesteuert werden soll: Sie kann nur gelingen, wenn für die Ausgestaltung des Aufenthalts gemeinsame Standards bestehen, die ein menschenwürdiges Leben in allen Mitgliedstaaten garantieren. Das gilt insbesondere auch, wenn es um die Einhaltung von Zuständigkeitsvorschriften geht. Denn grundsätzlich ist ein Mitgliedstaat berechtigt, einen Flüchtling in einen anderen Mitgliedstaat zurückzuführen, wenn dieser andere Mitgliedstaat nach den bestehenden Vorschriften die Pflicht hat, das Verfahren auf internationalen Schutz durchzuführen. Allerdings scheidet diese Möglichkeit aus rechtlichen Gründen, sofern ein zuständiger Mitgliedstaat Flüchtlinge während des Verfahrens nicht menschenwürdig behandelt. Hintergrund ist die Verpflichtung aller EU-Mitgliedstaaten, die in der Europäischen Menschenrechtskonvention niedergelegten Rechte zu achten. Kein Staat darf sich an solchen Verstößen dadurch beteiligen, dass er einen Schutzsuchenden durch eine Überstellung einer menschenrechtswidrigen Behandlung aussetzt. Das bedeutet aber auch: Ein Staat kann sich seiner Verpflichtung zur Schutzgewährung dadurch entziehen, dass er Flüchtlingen soziale Mindestrechte verwehrt. Darauf müsste reagiert werden, indem EU-Organe die Verpflichtung aller Mitgliedstaaten, entsprechende Menschenrechtsverstöße zu unterlassen, durchsetzen. Letztendlich aber kommt es darauf an, dass alle Staaten der EU ihre Verantwortung für die Wahrung sozialer Standards akzeptieren und danach praktisch handeln.

Wie aber sehen diese Standards aus? Mit dieser Frage hat sich ein rechtsvergleichendes Projekt des MPI für Sozialrecht und Sozialpolitik beschäftigt. Einbezogen wurden die südeuropäischen Grenzstaaten Spanien, Italien und Griechenland, zwei auf der sogenannten Balkanroute liegende Staaten (Ungarn und Bulgarien), die wichtigsten Nachbarstaaten Deutschlands (Frankreich, Österreich, Polen und die Niederlande), ferner das Vereinigte Königreich, Schweden und die Türkei. Die Untersuchung konzentrierte sich auf soziale Rechte von Schutzsuchenden während der Anerkennungsverfahren, und zwar bezogen auf vier Bereiche: die

Unterbringung, die Sicherung des Lebensunterhalts, die Gesundheitsversorgung und den Zugang zum Arbeitsmarkt. Für alle diese Bereiche enthält das EU-Recht Vorgaben mit der bereits erwähnten Aufenthaltsrichtlinie. Diese Richtlinie wurde erstmals im Jahr 2003 erlassen und ist 2013 reformiert worden. Ihr Ziel besteht darin, den Antragstellern „ein menschenwürdiges Leben“ zu ermöglichen und „vergleichbare Lebensbedingungen in allen Mitgliedstaaten“ zu gewährleisten, auch um eine „auf unterschiedliche Aufnahmevervorschriften zurückzuführende Sekundärmigration“ einzudämmen (Erwägungsgründe 11 und 12). Die Richtlinie war im Wesentlichen bis spätestens zum 20.7.2015 in nationales Recht umzusetzen. Vor diesem Hintergrund stellte sich erstens die Frage, wie weit die Mitgliedstaaten mit dieser Umsetzung gekommen sind, und zweitens, ob sich im Zusammenspiel zwischen nationalem Recht und unionsrechtlichen Mindestvorgaben gemeinsame Standards herausbilden, die dann zu wenigstens im Grundsatz gleichen Aufenthaltsbedingungen der Schutzsuchenden führen.

**DIE STEUERUNG DER AUFNAHME VON FLÜCHTLINGEN IN DER EU KANN NUR GELINGEN, WENN FÜR DIE AUSGESTALTUNG DES AUFENTHALTS GEMEINSAME STANDARDS BESTEHEN, DIE EIN MENSCHENWÜRDIGES LEBEN IN ALLEN MITGLIEDSTAATEN GARANTIEREN.**

Die rechtsvergleichende Bestandsaufnahme ist ernüchternd. In den Mitgliedstaaten herrscht ein wahrer Flickenteppich an Regelungen. Die nationalen Rechtsordnungen sehen unterschiedlichste Leistungsarten, Leistungsmodalitäten und Leistungsumfänge vor, die zudem je nach Stadium des Asylverfahrens oder auch der jeweils vorgesehenen Verfahrenart (beschleunigtes Verfahren, reguläres Verfahren, Dublin-Verfahren) variieren. Hinsichtlich der Unterbringung sind Aufenthaltsbeschränkungen während des Verfahrens die Regel. Von den im EU-Recht vorgesehenen drei Unterbringungsmöglichkeiten – „Räumlichkeiten für die Dauer der Prüfung eines an der Grenze oder in Transitzonen gestellten Antrags“, „Unterbringungszentren“ und privaten oder „anderen für die Unterbringung von Antragstellern geeigneten

Räumlichkeiten“ – wird in unterschiedlichem Maße in den Vergleichsländern Gebrauch gemacht. Es existieren zwar einige Qualitätsvorschriften, aber die ganz offensichtlich vorhandenen Schwierigkeiten, tatsächlich eine angemessene Unterbringung zu ermöglichen, sind unübersehbar. Es fehlt an Unterkünften in ausreichender Zahl. Das ist Folge einer unzureichenden Vorbereitung auf die starke Inanspruchnahme des internationalen Schutzes in vielen Ländern.

Was die materiellen Leistungen angeht, gilt ein „angemessener Lebensstandard“ als unionsrechtliche Vorgabe, der insofern etwas näher umschrieben wird, als dessen Einhaltung die Gewährleistung des Lebensunterhalts sowie des Schutzes der physischen und psychischen Gesundheit von Antragstellern voraussetzt. Bei der Sicherung des Lebensunterhalts setzen nicht wenige Länder auf eine – grundsätzlich mögliche – Differenzierung gegenüber einem allgemeinen Hilfeniveau. Das ist vielerorts unübersehbar mit der Gefahr verbunden, die Einhaltung des Existenzminimums zu verfehlen.



**EIN RECHTSVERGLEICHENDES PROJEKT UNSERES INSTITUTS ERGAB, DASS DIE SOZIALEN STANDARDS IN DEN EINZELNEN MITGLIEDSTAATEN DER EU EIN WAHRER FLICKENTEPPICH SIND.**

Etwas günstiger scheint die Situation bei der Versorgung mit Gesundheitsleistungen zu sein. Insofern lassen sich unterschiedliche, am Aufenthaltsstatus orientierte Regelungsansätze feststellen, die im Ergebnis zu drei verschiedenen Situationen führen: Erstens können in einigen Vergleichsrechtsordnungen Asylsuchende die gleichen Leistungen der Krankenbehandlung in Anspruch nehmen wie Staatsbürger (etwa in Italien, Polen und dem Vereinigten Königreich). Zweitens kann innerhalb der allgemeinen Grundversorgung Asylbewerber auch nur der Zugang zu einer medizinischen Grundversorgung gewährt werden, die nicht unbedingt deckungsgleich ist mit nationalen Basisleistungskatalogen. Drittens existiert mancherorts eine Begrenzung des Behandlungsanspruchs auf eine Akutversorgung. Im Übrigen zeigen

schon die Erfahrungen mit der Situation in Deutschland, dass es bei den Gesundheitsleistungen vor allem auf die tatsächliche Versorgungspraxis ankommt, die alles andere als reibungslos abläuft.

Im Hinblick auf den Zugang zum Arbeitsmarkt schließlich sind die in den meisten Mitgliedstaaten bestehenden Hürden nicht zu übersehen. Das Unionsrecht hält den Mitgliedstaaten dafür viele Möglichkeiten offen: Der Zugang muss Asylbewerber erst nach neun Monaten eröffnet werden, und auch das steht unter dem Vorbehalt, dass über den Schutzantrag noch nicht entschieden worden ist. Der Vorrang für Unionsbürger und aufenthaltsberechtigte Drittstaatsangehörige aus arbeitsmarktpolitischen Gründen ist eine verständliche Einschränkung, die Durchführung der entsprechenden Prüfung aber oft zu umständlich, womit die unionsrechtliche Verpflichtung, Antragstellern einen „effektiven Zugang zum Arbeitsmarkt zu gewähren“, viel zu oft unerfüllt bleibt. Dazu kommt, dass Asylbewerber in einigen Staaten nur bestimmten Beschäftigungen nachgehen dürfen, etwa Saisontätigkeiten oder ausgewählten Mangelberufen. Ihnen wird zwar eine Beschäftigung innerhalb der Asylunterkunft gestattet. Die Zahl dieser Beschäftigungsmöglichkeiten bleibt jedoch äußerst beschränkt, und die Verdienstmöglichkeiten sind mehr als bescheiden.

Die derzeitige Situation ist also einerseits durch viele praktische Schwierigkeiten gekennzeichnet, von denen immer wieder zu hören, zu lesen und zu sehen ist. Andererseits bleibt auch rechtlich gesehen noch viel zu tun, um zu den angestrebten unionsweit vergleichbaren Aufnahmebedingungen für Flüchtlinge zu kommen. Die Europäische Kommission hat nicht umsonst bis zum Frühjahr 2016 eine Reihe von Vertragsverletzungsverfahren gegen säumige Mitgliedstaaten eingeleitet. Immerhin sind einige Ansätze erkennbar, auf denen weiter aufgebaut werden kann. Dazu gehört ganz allgemein der Umstand, dass Schutzsuchenden Leistungen und Teilhabemöglichkeiten in den Mitgliedstaaten weitgehend durch gesetzliche Vorschriften mit individuellen Ansprüchen eingeräumt werden. Dazu gehört ferner das Bemühen einiger nationaler Gerichte, die Anforderungen an ein menschenwürdiges Leben konkreter zu fassen. So hat das Bundesverfassungsgericht im Sommer 2014 entschieden, auch „eine kurze Aufenthaltsdauer oder Aufenthaltsperspektive in Deutschland“ rechtfertige es nicht, „den Anspruch auf Gewährleistung eines menschenwürdigen Existenzminimums auf die Sicherung der physischen Existenz zu beschränken“. Vielmehr müsse – einer 2010 zu den sogenannten Hartz IV-Leistungen ergangenen Entscheidung

entsprechend – auch Flüchtlingen ab Beginn des Aufenthalts ein soziokulturelles Existenzminimum gewährt werden. An diese Entscheidung hat wenig später der High Court of Justice für England and Wales angeknüpft und ausgeführt, es seien bei der Berechnung von Leistungen für Asylbewerber alle für die Deckung des persönlichen Lebensbedarfs erforderlichen Bestandteile zu berücksichtigen.

Allerdings zeigt sich, dass die Umsetzung dieser Rechtsprechung auf Schwierigkeiten stößt. Das in England zuständige Ministerium hat zwar nach eigenem Bekunden mittlerweile eine neue Leistungsberechnung angestellt, ist im Ergebnis dabei aber zu keinen höheren Leistungsansprüchen gekommen. Nach wie vor können Asylbewerber im Vereinigten Königreich nur eine Geldleistung beanspruchen, die sich auf die Hälfte des Sozialhilfesatzes beläuft. Auch in anderen Ländern hilft eine eher großzügige rechtliche Ausgestaltung oft nicht: Wenn etwa in Italien alle Ausländer die allgemein vorgesehenen Gesundheitsleistungen in Anspruch nehmen und in Griechenland auch Asylbewerber Zugang zum Arbeitsmarkt haben, setzt das immer eine vollständige Registrierung voraus. Solange es schon daran und an einer ordnungsgemäßen Unterbringung fehlt, laufen die sozialen Rechte in der Praxis leer. Es bedarf also eines die Herausforderungen annehmenden politischen Willens und einer effektiven Bürokratie. Und es besteht natürlich letztendlich auch hier ein Zusammenhang mit der Kontrolle von Grenzen und der Verteilung von Schutzsuchenden.

Im Ergebnis zeigt sich: Die Herausbildung von Aufnahme-standards, die dem in der ganzen EU geltenden Ziel, eine menschenwürdige Existenz zu sichern, entsprechen, steht ganz offensichtlich erst am Anfang. Es bedarf weiterer gesetzlicher Konkretisierungen sowohl auf nationaler wie auf europäischer Ebene, und es fehlt oft an gerichtlichen Entscheidungen, die diese Konkretisierungen nötigenfalls einfordern würden. Insofern ist auch die rechtsvergleichende Arbeit fortzusetzen. Insbesondere neue Reformen, die in vielen Ländern auch die sozialen Rechte der Bürgerkriegsflüchtlinge betreffen, bedürfen einer kritischen wissenschaftlichen Begleitung. Ohne die Gewährleistung ausreichender sozialer Rechte auf einer gemeinsamen Grundlage ist das eingangs genannte „gemeinsame europäische Asylsystem“ nicht funktionsfähig. Das bringt uns am Ende zurück zu der erwähnten vertraglichen Rechtsgrundlage der EU. Dort ist zu lesen, dass für das europäische Asylrecht die Grundsätze „der Solidarität und der gerechten Aufteilung der Verantwortlichkeiten unter den Mitgliedstaaten“ gelten (Art. 80 AEUV). Das steht im Indikativ Präsens. In Wirklich-

keit muss es aber gegenwärtig darum gehen, gerade auch im Zusammenhang mit der Aufnahme von Flüchtlingen eine europäische Solidarität herzustellen – oder besser gesagt, dafür zu sorgen, dass ein gemeinsames Einstehen und sich gegenseitiges Helfen tatsächlich zur Grundlage der europäischen Integration werden.

**OHNE DIE GEWÄHRLEISTUNG AUSREICHENDER  
SOZIALER RECHTE AUF EINER GEMEINSAMEN  
GRUNDLAGE IST DAS „GEMEINSAME EUROPÄISCHE  
ASYLSYSTEM“ NICHT FUNKTIONSFÄHIG.**



ULRICH BECKER

MAX PLANCK INSTITUTE FOR SOCIAL LAW AND SOCIAL POLICY

## European solidarity with refugees?

The treaties on which the European Union is legally based recognize a “Common European Asylum System”. This will probably come as a surprise to anyone who has been following the never-ending media reports about the wrangling between EU Member States over border closures and refugee acceptance quotas. In practice, there is still no discernable trace of either a ‘system’ or a ‘European’ response to the arrival of refugees in the EU. The number of people seeking protection in Europe has been increasing since 2010. It reached a temporary peak last year. In 2015, around 1.1 million applications for asylum were submitted in the EU; almost 442,000 of them were filed in Germany, the country to which over one million people are reported to have fled.

There is talk of a ‘refugee crisis’ and this refers not only to the increasing demand for protection but, clearly also, to the difficulties of ensuring an adequate response to this demand. While it may be grossly exaggerated to declare a state of emergency and refer to the rule of injustice, the failure of the European asylum system cannot be overlooked. This is largely due to systematic weaknesses in the regulations in force. Whether these weaknesses can be eliminated would appear doubtful – at least at the time of writing this report. Given the pressure for reform, it is possible that by the time these words are read, a solution is emerging, or has even been agreed on. Whatever form it may take, the question regarding the conditions of reception for refugees, in particular the extent to which they are granted social rights, will assume a crucial significance.

former and these, in turn, depend on the status of the foreign person involved. In principle, a distinction is made between the two reasons for granting protection to foreigners. The first one is the “refugee status”, which is based on the Geneva Convention on Refugees of 1951 (with the Protocol of 1976) and requires that a person “owing to well-founded fear of being persecuted for reasons of race, religion, nationality, membership of a particular social group or political opinion, is outside the country of his nationality” (Art. 1 A No. 2 Convention Relating to the Status of Refugees). This term largely corresponds to “persons persecuted on political grounds”, who have the right to asylum in accordance with the Basic Law of the Federal Republic of Germany (GG) (Art. 16a Para. 1 GG). The second reason is “subsidiary protection”. This covers all cases in which refugee status is not applicable, particularly due to a lack of any specific motivation relating to persecution, but in which people are at “real risk” of suffering “serious harm” in their home country. This risk includes a “serious and individual threat to a civilian’s life or person by reason of indiscriminate violence in situations of international or internal armed conflict”. Both grounds for protection are referred to today as “international protection” because the term “asylum” was traditionally reserved for refugees in the stricter sense.

For this reason, it would be more accurate to speak of persons who have the right to asylum, on the one hand, and persons who have the right to subsidiary protection, on the other. And based on this, a distinction must then be made according to whether someone has only applied for protection, or has already been granted protection. For the duration of this process the right of residence is unclear and arises (only) from the necessity to verify the right to protection. Applicants are initially therefore either asylum or protection seekers. If this differentiation is made, the term “refugee” can be used in line with general usage as an umbrella term that covers all those entitled to and seeking protection.

The “Common European Asylum System” referred to at the outset rests on four pillars, which were established for the first time around the turn of the millennium and have been updated – for the most part, at least – in recent years, namely before the significant increase in refugee numbers. They relate to all major aspects of the granting of international protection. The first of these pillars is the Qualification Directive (Directive 2011/95/EU), which defines both the requirements for international protection and the fundamental rights associated with the granting of protection status. The second is the Asylum Procedures Directive (Directive 2013/32/EU), which contains provisions on the procedures involved in the grant-



**THE DIFFICULTY OF THE CURRENT SITUATION LIES  
IN THE FACT THAT ASYLUM POLICY ALSO REQUIRES  
“MORE EUROPE” AND NOT LESS.**

It is important to establish some terminological clarity from the outset – particularly in view of the fact that this is often lacking in the public debate. It is less a question of linguistic accuracy than one centring on a clear understanding of the different groups of people involved here. This is important because the rights a person enjoys when resident in a particular country depend on the rights of residence of the

ing and withdrawing of international protection. Third, the conditions governing the reception of persons seeking protection are set down in a separate legislative act, the Reception Directive (Directive 2013/33/EU). Fourth, and finally, the question as to which Member State of the EU is responsible for the examination of applications for international protection must be clarified. This issue is currently regulated by the Dublin III Regulation (Regulation (EU) No 604/2013), which is very well-known at this stage and is accompanied by requirements for the registration of persons seeking international protection (the Eurodac Regulation, Regulation (EU) No 203/2013).

Although the aforementioned legislative provisions were intended to achieve consistency at least in relation to fundamental questions, they do not work in practice. On the one hand, the interpretation of the requirements for international protection varies significantly from one Member State to the next. This is evident in the fact that the rates for the granting of protection to persons from certain countries of origin vary considerably within the EU – something that can hardly be explained by the peculiarities of the cases in question alone. Far more serious are the weaknesses of the so-called Dublin system. For a long time, the states located in the middle of Europe could safely assume that they would not have to accept any refugees, as it is the states in which refugees enter the EU, meaning the states located on its external borders, that are primarily responsible for them. With the arrival of an increasing number of refugees, the border states were no longer willing or able to fulfil this obligation. In an area with open internal borders, the so-called Schengen Area, this situation led to largely uncontrolled migration. This is the reason why some states like Sweden, Austria and most of the Balkan states have closed their borders and are, in this way, attempting to prevent or limit internal migration. It cannot be ignored that this is causing very difficult situations in the border states.

The difficulty of the current situation lies in the fact that a successful asylum policy requires “more Europe” and not less. There are reasons why the situation of the “Common European Asylum System” is reminiscent of that of the euro as the cornerstone of the European Economic and Monetary Union. In both cases a situation exists whereby certain fundamental issues essential for the functioning of a common policy have not been communitized. In the context of the reception of refugees, it is particularly the securing of the external borders that must be understood as a common task of all Member States. In addition, the assumption of joint responsibility for the reception of refugees will also be required.

Particularly in a situation like the current one, i.e. a mass migration prompted by civil war in neighbouring regions, an agreement on quotas would prove a particularly suitable instrument. Such quotas would enable refugees to enter EU territory safely, and would relieve the authorities and courts in the reception states of the burden of implementing complex procedures for the examination of individual cases. A separate legal basis for this actually exists in the EU, i.e. the Temporary Protection Directive (Council Directive 2001/55/EC). The lengthy title of this directive states that it also serves the purpose of “promoting a balance of efforts between Member States in receiving such persons and bearing the consequences thereof”. It has not been possible, however, to reach agreement within the EU on such a “balance of efforts”. For this reason, the directive proves futile and has not been applied to the present day.

**THE INCREASED RECEPTION OF REFUGEES IN THE EU CAN ONLY BE CONTROLLED IF COMMON STANDARDS EXIST THAT GUARANTEE HUMAN DIGNITY IN EVERY EU MEMBER STATE.**



Irrespective of how the reception of refugees in the EU should be controlled, it can only succeed if common standards exist as to the handling of residence status, standards which guarantee a dignified life in any of the Member States. This applies in particular also to compliance with the rules of jurisdiction. A Member State is basically entitled to transfer a refugee back to another Member State if it is the duty of the latter to complete the procedure for the granting of international protection based on existing regulations. However, this option is invalid on legal grounds if a responsible Member State does not treat refugees in a way that guarantees a dignified standard of living during the examination procedure. The background here is the obligation of all EU Member States to observe the rights enshrined in the European Convention on Human Rights. No state may be involved in the contravention of these rights by exposing a person seeking protection to treatment that violates human rights as a result of the person's transfer back to another state. Consequently, however, a state can evade its obligation to grant protection

by refusing to grant minimum social rights to refugees. The response to this should take the form of an enforcement by EU bodies of the obligation to desist from contravening human rights in this way in all Member States. Ultimately, however, it is a question of all EU states accepting their responsibility for the safeguarding of social standards and taking practical action on this basis.

But what form do these standards take? This question was examined by a comparative law project carried out at the Max Planck Institute for Social Law and Social Policy. Included in the study were the southern European border states of Spain, Italy and Greece, two states located on the so-called Balkan route (Hungary and Bulgaria), Germany's most important neighbouring states (France, Austria, Poland and the Netherlands), and the United Kingdom, Sweden and Turkey. It concentrated on the social rights of persons seeking protection during the recognition procedure, specifically in relation to four areas: accommodation, the ensuring of means of subsistence, healthcare and access to the labour market. EU law specifies requirements for all these areas in the above-mentioned Reception Directive. This directive was initially enacted in 2003 and was reformed in 2013. It aims to enable applicants to have "a dignified standard of living", to guarantee "comparable living conditions in all Member States" and to limit "secondary movements of asylum seekers influenced by the variety of conditions for their reception". The directive was supposed to have been largely implemented in national law by 20 July 2015 at the latest. Against this background, the question arose, first, as to how far the Member States had progressed in implementing this directive and, second, whether common standards emerged in the interaction between national law and the minimum requirements under EU law, which would then have led to the same reception conditions for persons seeking protection, in principle at least.

The comparative law survey is sobering. A veritable patchwork of regulations and provisions can be found in the EU Member States. The national legal orders provide a very wide

range of service types, modalities and scopes, which also vary according to the stage of the asylum procedure or the type of procedure in question (accelerated procedure, regular procedure, Dublin procedure). Regarding accommodation, restrictions on residence are the rule during the procedure. The use made of the three accommodation options provided for in the EU legislation – "premises used for the purpose of housing applicants during the examination of an application for asylum lodged at a border or in transit zones"; "accommodation centres" and private or "other premises adapted for housing applicants" – varies in the countries compared. Although some quality specifications exist, the difficulties involved in the task of actually providing suitable accommodation are obvious. A sufficient quantity of accommodation is lacking. This is due to the insufficient preparation for the high number of claims being made for international protection in many countries.

Regarding material reception conditions, an "adequate standard of living" is the requirement applicable under EU law. Compliance with it presupposes that asylum seekers are guaranteed an adequate standard of living along with the protection of their physical and psychological health. In ensuring subsistence, a considerable number of countries tend to make use of the possibility to set different levels of support, differentiating between their own and foreign nationals. In many places, this is evidently linked with the risk of failing to comply with the subsistence level.

The situation regarding the provision of healthcare services appears to be somewhat more favourable. Different regulatory approaches can be observed here which are based on residence status, and ultimately give rise to three different situations. First, under some legal orders, asylum seekers can claim the same services in terms of medical treatment as citizens of the country in question (for example in Italy, Poland and the United Kingdom). Second, in the context of the general basic services provision, asylum seekers can only be granted access to basic medical care, which is not necessarily equivalent to the national catalogues of basic services. Third, in some countries, the right to treatment is limited to acute care. Incidentally, the experience from the situation in Germany already shows that when it comes to healthcare services, what mainly matters is the actual provision of care, and this operates anything but smoothly.

Regarding access to the labour market, obvious obstacles clearly exist in the majority of Member States. EU law offers many options to the Member States in this regard: access

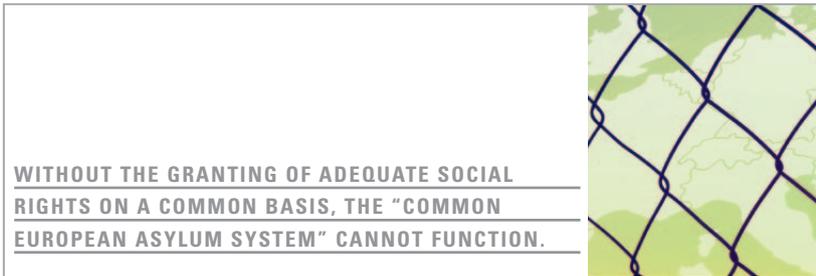


**A COMPARATIVE LAW PROJECT CARRIED OUT BY  
OUR INSTITUTE FOUND THAT THERE IS A VERITABLE  
PATCHWORK OF SOCIAL STANDARDS IN THE  
INDIVIDUAL EU MEMBER STATES.**

must only be provided to asylum seekers after nine months and then only under the condition that no decision has been taken on their application for protection. For reasons relating to labour market policy, the priority given to EU citizens and third-country nationals with rights of residence is an understandable limitation; however, carrying out the corresponding checks is often too laborious, hence the obligation under EU law to provide asylum seekers with “effective access to the labour market” remains unfulfilled in all too many cases. The situation is aggravated by the fact that in some states asylum applicants are only allowed to work in certain occupations, for example as seasonal workers or in selected occupations which suffer from a shortage of work force. Although they are allowed to work within the asylum accommodation, the number of such employment opportunities remains extremely limited, and the earning potential from such employment is very modest.

The current situation is therefore, on the one hand, characterized by many practical difficulties, about which much can be heard and read. On the other hand, from a legal perspective, a lot remains to be done to attain the targeted comparable reception conditions for refugees across the European Union. It was with good reason that the European Commission instigated a series of treaty infringement proceedings against dilatory Member States in this regard up to spring 2016. Hence, some attempts have at least been observed that can be built on. This relates very generally to the fact that persons seeking protection are, by way of legislative provisions, granted services and opportunities for participation in everyday life in the Member States. It also relates to the efforts of some national courts to formulate the requirements for a “dignified standard of living” in more concrete terms. For example, in summer 2014, the German Federal Constitutional Court decided that “a short duration of residence or prospect of residence in Germany” did not justify “the narrowing down of the right to the guarantee of a dignified living standard to the mere safeguarding of a person’s physical existence.” Instead – in accordance with a decision adopted in relation to the Hartz IV welfare benefits – refugees must also be granted a socio-cultural subsistence level from the outset of their stay. The High Court of Justice of England and Wales later referred to this decision and argued that all necessary elements to cover one’s personal living requirements should be taken into consideration in the calculation of benefits for asylum seekers. However, it has emerged that the application of this judgement faces certain difficulties. Although, by its own account, the responsible ministry in England conducted new calculations, the findings did not result in any right to an increase in benefits. Asylum seekers in the United Kingdom can still only claim a financial

payment equivalent to half of the welfare benefit payment. A rather generous legal arrangement often fails to help in other countries too: while all foreigners in Italy have the right to claim access to the general healthcare services, and asylum seekers in Greece also have access to the labour market, full registration is required to avail of this access. As long as registration procedures and proper accommodation are lacking, the legally granted social rights will come to nothing in practice. The acceptance of the challenges associated with this situation requires both political will and an effective bureaucracy. Of course, here too, there is ultimately a connection with the controlling of borders and the distribution among EU states of persons seeking protection.



**WITHOUT THE GRANTING OF ADEQUATE SOCIAL RIGHTS ON A COMMON BASIS, THE “COMMON EUROPEAN ASYLUM SYSTEM” CANNOT FUNCTION.**

In conclusion: The emergence of reception standards that would reflect the aim of ensuring a dignified standard of living applicable across the EU is clearly in its early stages. Further statutory substantiation is required, at both national and European levels, and court judgements that demand such substantiation, if necessary, are often lacking. Accordingly, comparative legal research should be continued. New reforms that also affect the social rights of civil war refugees in many countries require critical scientific scrutiny in particular. Without the granting of adequate social rights on a common basis, the “Common European Asylum System” referred to at the outset cannot function. This brings us back to the aforementioned legal basis provided by the EU treaties. This states that the implementation of European asylum law “shall be governed by the principle of solidarity and fair sharing of responsibility [...] between the Member States” (Art. 80 TFEU). It is written there in black and white. In reality, the current concern, particularly in relation to the reception of refugees, must be to foster European solidarity – or, in other words, to ensure that sharing responsibility and helping each other will actually become the basis of European integration.

# Max-Planck-Innovation – die Technologietransfer-Organisation der Max-Planck-Gesellschaft

## Max Planck Innovation – the Technology Transfer Organisation of the Max Planck Society

Die Max-Planck-Innovation GmbH ist verantwortlich für den Technologietransfer aus den Max-Planck-Instituten. Unter dem Motto „Connecting Science and Business.“ versteht sich das Tochterunternehmen der Max-Planck-Gesellschaft als Partner für Wissenschaftler ebenso wie für die Wirtschaft. Es bietet zukunftsorientierten Unternehmen einen zentralen Zugang zu Know-how und schutzrechtlich gesicherten Erfindungen der über 83 Institute und Einrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft. Dabei vermarktet Max-Planck-Innovation in erster Linie Erfindungen aus dem biologisch-medizinischen sowie dem chemisch-physikalisch-technischen Bereich. Als Partner für die Max-Planck-Wissenschaftler berät und unterstützt Max-Planck-Innovation diese sowohl bei der Evaluierung von geistigem Eigentum und der Anmeldung von Patenten als auch bei der Gründung von Unternehmen auf Basis von Technologien, die an einem Max-Planck-Institut entwickelt wurden.

Damit erfüllt Max-Planck-Innovation eine wichtige Aufgabe: Sie fördert die Übertragung wissenschaftlicher Erkenntnisse in wirtschaftlich nutzbare Produkte und Dienstleistungen und schafft neue Arbeitsplätze am Standort Deutschland. Pro Jahr evaluiert Max-Planck-Innovation durchschnittlich 140 Erfindungen, von denen etwa die Hälfte zu einer Patentanmeldung führt. Seit 1979 wurden fast 4.000 Erfindungen begleitet und mehr als 2.300 Verwertungsverträge abgeschlossen. Seit Anfang der 1990er-Jahre sind 117 Firmenausgründungen aus der Max-Planck-Gesellschaft hervorgegangen, von denen die überwiegende Mehrzahl von Max-Planck-Innovation aktiv betreut wurde. In diesen Ausgründungen sind seitdem mehr als 3.000 Arbeitsplätze entstanden.

Im Jahr 2015 wurden 137 Erfindungen an Max-Planck-Innovation gemeldet (2014: 131) und 69 Verwertungsverträge (inkl. Vereinbarungen zu Gemeinschaftserfindungen und TT-Ver-

Max Planck Innovation is responsible for technology transfer from the Max Planck Institutes. Under the motto, “Connecting Science and Business,“ this subsidiary of the Max Planck Society sees itself as a partner to scientists and business alike. It offers forward-looking companies central access to know-how and patented inventions from over 83 Institutes and facilities belonging to the Max Planck Society. Max Planck Innovation primarily markets inventions from the biology and medicine area and the chemistry, physics and technology field. As a partner to Max Planck scientists, Max Planck Innovation advises and supports them both in evaluating intellectual property and applying for patents, as well as in setting up companies on the basis of technologies developed at a Max Planck Institute.

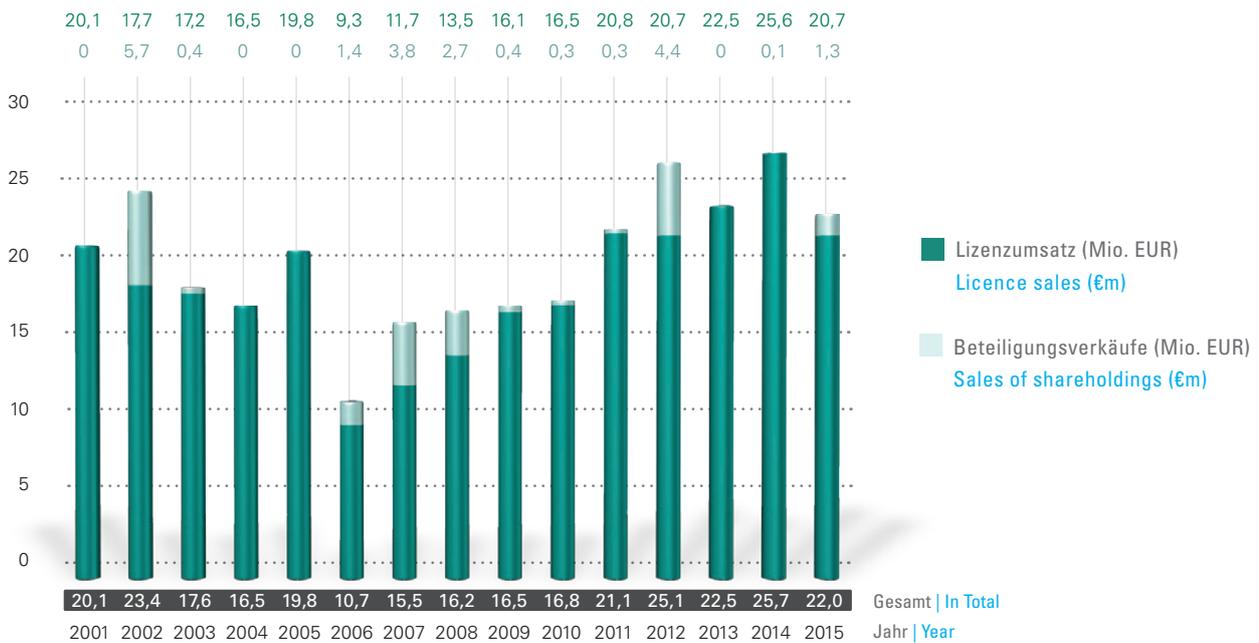
In doing so, Max Planck Innovation is accomplishing an important task: it promotes the transfer of scientific insights to economically useful products and services, creating new jobs in Germany as a place to do business. Every year, Max Planck Innovation evaluates an average of 140 inventions of which around half will lead to a patent application. Since 1979, the company has supported almost 4,000 inventions and signed more than 2,300 exploitation agreements. The Max Planck Society has spawned 117 spin-offs since the beginning of the 1990s, the overwhelming majority of which enjoyed active support from Max Planck Innovation. These spin-offs have since created more than 3,000 jobs.

In 2015, 137 inventions were reported to Max Planck Innovation (2014: 131), and 69 exploitation agreements were concluded (incl. agreements on joint inventions and TT agreements) (2014: 80). Exploitation revenues will likely amount to 22 million euros (2014: 25.7). These were boosted by the sale of one company resulting in direct revenues of 1.3 million euros, as well as a small residual payment from an earlier sale

## ZAHL DER AUSGRÜNDUNGEN | NUMBER OF SPIN-OFFS



## VERWERTUNGSERLÖSE | EXPLOITATION REVENUES



Verwertungserlöse in Mio. Euro (für 2015 sind endgültige Zahlen erst ab Mitte 2016 zu verfügbar)  
 Exploitation revenues in euro millions (final figures for 2015 will not be available until mid-2016)

einbarungen) abgeschlossen (2014: 80). Die Verwertungserlöse betragen voraussichtlich 22 Millionen Euro (2014: 25,7). Dazu trug 2015 ein Unternehmensverkauf mit einem unmittelbaren Erlös von 1,3 Millionen Euro sowie eine kleine Restzahlung aus einem früheren Unternehmensverkauf bei (2014: 100.000 Euro). Die endgültigen Zahlen für das Geschäftsjahr 2015 liegen aufgrund der nachgelagerten Abrechnung verschiedener Lizenznehmer erst ab Mitte 2016 vor.

Im Gründungsbereich gingen 2015 aus unterschiedlichen Max-Planck-Instituten drei Ausgründungen hervor, die von Max-Planck-Innovation betreut wurden. Zudem konnten acht Neubeteiligungen abgeschlossen werden. Erfreulicherweise fanden sich für drei Ausgründungen externe Seed- oder Serie-A-Finanzierungen, eine weitere Ausgründung konnte durch eine Kapitalerhöhung aus dem Gesellschafterkreis finanziert werden. Zusätzlich zu den hiermit eingeworbenen 8,7 Millionen Euro konnte ein Gesellschafter-Nachrangdarlehen mit mehr als 30 Millionen Euro eine weitere Ausgründung sichern. Besonders erwähnenswert ist, dass in jüngerer Zeit zunehmend Mittel aus öffentlichen Förderprogrammen eingeworben werden konnten, etwa aus dem EXIST-Forschungstransfer, von GO-Bio oder dem m4 Award. Dem Engagement von Max-Planck-Innovation ist es zu verdanken, dass in den vergangenen sechs Jahren 23 Gründungsvorhaben aus der Max-Planck-Gesellschaft insgesamt 19,5 Millionen Euro Förderung aus verschiedenen Programmen erhalten haben.

#### BEITRITT ZUR TECHNOLOGIEALLIANZ

Max-Planck-Innovation hat sich 2015 der TechnologieAllianz angeschlossen, einem bundesweiten Verband für Wissens- und Technologietransfer aus deutschen und österreichischen Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Die Technologien, die aus den Instituten der Max-Planck-Gesellschaft hervorgehen, finden so Eingang in Deutschlands größten Pool von schutzrechtlich gesicherten Erfindungen. Unternehmen aus Deutschland und weltweit nutzen diesen zentralen Zugang, um deutsche Spitzentechnologien zu lizenzieren.

Die TechnologieAllianz vereinigt in ihrem Netzwerk 40 Mitglieder, die weit mehr als 250 wissenschaftliche Einrichtungen repräsentieren und über 130.000 Wissenschaftler betreuen. Unter [www.technologieallianz.de](http://www.technologieallianz.de) betreibt sie das größte deutsche Portal für patentierte Spitzentechnologien aus der Wissenschaft und bietet damit interessierten Unternehmen aller Branchen Zugang zu einer großen Bandbreite schutzrechtlich gesicherter Erfindungen.

(2014: 100,000 euros). The final figures for the 2015 financial year will not be available until mid-2016 due to the time lag in settling with various licensees.

Three spin-offs were created from different Max Planck Institutes in 2015 with the support of Max Planck Innovation. Eight new participations were also concluded. Fortunately, external seed or series A finance was found for three spin-offs, and a further one was financed through a capital increase raised from the shareholders. In addition to the 8.7 million euros raised in this fashion, a further spin-off was secured through a subordinated shareholder loan with more than 30 million euros. Particular mention should be made of the fact that recently funds have been increasingly raised from public funding programmes, e.g. from EXIST Transfer of Research, GO-Bio and the m4 Award. It is down to the commitment of Max Planck Innovation that, in the last six years, 23 start-up projects from the Max Planck Society have received a total of 19.5 million euros in the way of funding from various programmes.

#### ADMISSION TO TECHNOLOGIEALLIANZ

Max Planck Innovation joined TechnologieAllianz in 2015, a nationwide association for the transfer of knowledge and technology from German and Austrian universities and research facilities. In this way, the technologies developed by Institutes of the Max Planck Society enter Germany's largest pool of patented inventions. Companies from Germany and around the world use this central access to licence cutting-edge technology from Germany.

TechnologieAllianz brings 40 members together in its network, representing far in excess of 250 scientific institutions and looking after over 130,000 scientists. It operates the largest German portal for patented cutting-edge technology from the world of science at [www.technologieallianz.de](http://www.technologieallianz.de), and thereby offers interested companies from all sectors access to a wide spectrum of patented inventions.

#### LICENSING AGREEMENTS

**Aircloak** has acquired a licence for software for protecting data. The technology which was originally developed at the **Max Planck Institute for Software Systems** in Kaiserslautern, allows data to be evaluated by users and customers in compliance with data protection regulations, as no conclusions can be drawn about individual people. The software enables customers to extract the maximum benefit from data for analytical and marketing purposes without threatening the privacy of individual users.

## LIZENZVERTRÄGE

Die Firma **Aircloak** hat eine Lizenz für eine Software zum Schutz von Daten erworben. Die Technologie, die ursprünglich am **Max-Planck-Institut für Softwaresysteme** in Kaiserslautern entwickelt wurde, ermöglicht es, Daten von Nutzern und Kunden datenschutzkonform auszuwerten, da keine Rückschlüsse auf einzelne Personen gezogen werden können. Auf diese Weise kann das Potenzial von Daten optimal für Analyse- und Marketingzwecke erschlossen werden, ohne die Privatsphäre einzelner Nutzer zu gefährden.

Eine Technologie basierend auf single-stranded RNA interference (ssRNAi) wurde co-exklusiv an die US Firmen **WAVE Life Sciences** und **ISIS Pharmaceuticals** lizenziert. Die Technologie stammt vom **Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie** in Göttingen. Beide Firmen wollen diese nun mit dem Ziel weiterentwickeln, neue Behandlungsmöglichkeiten für eine Vielzahl von seltenen genetischen Krankheiten zu schaffen.

## AUSGRÜNDUNGEN

Die Max-Planck-Gesellschaft und Actelion haben das Start-up-Unternehmen **Vaxxilon** gegründet, um Kohlenhydratbasierte Impfstoffe auf den Markt zu bringen. Die synthetischen Impfstoffe sollen in erster Linie gegen bakterielle Infektionen schützen. Für ihre Kommerzialisierung hat Vaxxilon die exklusiven Rechte für verschiedene präklinische Impfstoffkandidaten und Methoden des **Max-Planck-Instituts für Kolloid- und Grenzflächenforschung** von Max-Planck-Innovation erworben. Die ersten Studien am Menschen mit einem neuen Impfstoff plant Vaxxilon in den kommenden drei Jahren. Mit einer Finanzierungszusage von

A technology based on single-stranded RNA interference (ssRNAi) was licensed co-exclusively to the US companies **WAVE Life Sciences** and **ISIS Pharmaceuticals**. The technology stems from the **Max Planck Institute for Biophysical Chemistry** in Göttingen. Both companies now want to develop it further with the aim of creating new treatment opportunities for a series of rare genetic disorders.

## SPIN-OFFS

The Max Planck Society and Actelion have founded the start-up **Vaxxilon** in order to bring carbohydrate-based vaccines to the market. The synthetic vaccines are primarily to protect against bacterial infections. In order to commercialize the technology, Vaxxilon has acquired the exclusive rights to different preclinical vaccine candidates and methods developed by the **Max Planck Institute of Colloids and Interfaces** from Max Planck Innovation. Vaxxilon plans to conduct its first studies on humans with a new vaccine in the next three years. Actelion will be the main investor and major shareholder of Vaxxilon, having committed to investing up to 30 million euros, which will be released in several tranches over a period of three to four years.

The spin-off **Venneos GmbH** has raised over a million euros in a seed funding round. The company is developing a novel imaging system for analyzing biological cells. To make the technology commercially viable and to prepare the launch of the first generation of products, a consortium consisting of Business Angels and Family Offices, as well as High-Tech Gründerfonds and the Max Planck Society is investing in the company. The technology from the **Max Planck Institute of Biochemistry** is based on an innovative measurement

bis zu 30 Millionen Euro, die in einem Zeitraum von drei bis vier Jahren in mehreren Tranchen fließen sollen, wird Actelion Hauptinvestor und Hauptgesellschafter von Vaxxilon.

Die Ausgründung **Venneos GmbH** hat in einer Seed-Finanzierungsrunde über eine Million Euro eingeworben. Die Firma entwickelt ein neuartiges Imaging System für die Analyse biologischer Zellen. Für die Entwicklung zur Marktreife und die Vorbereitung des Markteintritts der ersten Produktgeneration investieren ein Konsortium aus Business Angels und Family Offices sowie der High-Tech Gründerfonds und die Max-Planck-Gesellschaft in das Unternehmen. Die Technologie aus dem **Max-Planck-Institut für Biochemie** beruht auf einem innovativen Messansatz, der es ermöglicht, zelluläre Veränderungen zu erkennen, die mit anderen Technologien unsichtbar bleiben.

Das Spin-off **Body Labs** hat im Rahmen einer Serie-A-Finanzierung acht Millionen Dollar für seine 3D-Body-Modeling-Technologie erhalten. Das 2013 gegründete Unternehmen hat auf Grundlage von Forschungsergebnissen der Brown University und des **Max-Planck-Instituts für Intelligente Systeme** eine Technologie entwickelt, mit der sich auf einfache Weise hochpräzise und realistische Avatare herstellen lassen, die das gesamte Spektrum menschlicher Bewegungsabläufe imitieren können. Mit dem Geld will Body Labs den Produktinnovationsprozess beschleunigen und seine führende Marktposition in der 3D-Körpermodellierung ausbauen.

Für rund 200 Millionen Euro hat der Pharma- und Medtech-Konzern **Baxter** die **SuppreMol GmbH** erworben. SuppreMol wurde 2002 als Spin-off des Labors von Robert Huber, Max-Planck-Direktor und Chemie-Nobelpreisträger von 1988, am **Max-Planck-Institut für Biochemie** gegründet und entwickelt innovative Protein-Therapeutika. Der Kauf durch ein weltweit führendes biopharmazeutisches Unternehmen bildet eine ideale Voraussetzung für die erfolgreiche Weiterentwicklung neuartiger Medikamente zur Behandlung von Autoimmunerkrankungen. SuppreMol verfügt über ein Portfolio neuartiger Immuntherapeutika, die sich auf die Modulation von Fc-Rezeptor-Signalwegen fokussieren. Der Kauf bringt die deutsche Biotech-Industrie in Bewegung, handelt es sich doch laut dem Biotech-Nachrichtenmagazin Transkript um die größte Übernahmesumme seit 2011.

#### INKUBATOREN

Um Erfindungen, die unter anderem aus der Grundlagenforschung der Max-Planck-Institute stammen, industriekompatibel bzw. gemäß den Anforderungen von Eigenkapitalinves-

technique that enables cellular changes to be detected which remain invisible to other technologies.

The spin-off **Body Labs** has received eight million dollars for its 3D body modelling technology in the form of series A funding. The company, which was set up in 2013, has developed a technology based on research results obtained by Brown University and the **Max Planck Institute for Intelligent Systems** with which highly precise, realistic avatars can be easily produced that can imitate the entire spectrum of human movements. Body Labs intends to use the money to accelerate its product innovation process and extend its leading position in the market for 3D body modelling.

The pharmaceutical and medtech company **Baxter** has acquired **SuppreMol GmbH** for around 200 million euros. SuppreMol was set up as a spin-off from the laboratory of Robert Huber, Max Planck Director and 1988 Nobel Prize winner for chemistry at the **Max Planck Institute of Biochemistry**, and it develops innovative protein therapeutics. The purchase of the company by one of the world's leading bio-pharmaceutical enterprises forms the ideal basis for the successful development of new types of drugs for treating autoimmune diseases. SuppreMol boasts a portfolio of novel immune therapeutics that focus on the modulation of Fc receptor signal paths. The purchase will shake up the German biotech industry as, according to the biotech news magazine Transkript, this is the highest takeover figure since 2011.

#### INCUBATORS

In the last few years, Max Planck Innovation has opened various incubators in order to validate inventions, some of which stem from basic research at Max Planck Institutes, and to make them compatible for industry or align them with the requirements of equity investors, thereby bringing them closer to industry and the market. There were also numerous positive developments in 2015.

The **Lead Discovery Center (LDC)** received one million euros from the **Max Planck Foundation**. The project subsidy will be used for the development of two innovative approaches to active agents, including one from the Max Planck Institute of Microstructure Physics. The LDC also signed a licence agreement with **Qurient Co. Ltd.** for CDK7 inhibitors. The indications targeted are cancer, inflammations and viral infections. The LDC also entered into collaborations with various partners, including the **Helmholtz Centre for Infection Research**, **AstraZeneca**, **Johnson & Johnson Innovation** and **Infinity Pharmaceuticals** in order to drive forward the development of various active agents.

toren zu validieren und damit näher an die Industrie und den Markt heranzubringen, hat Max-Planck-Innovation in den letzten Jahren verschiedene Inkubatoren ins Leben gerufen. Auch 2015 gab es hier zahlreiche positive Entwicklungen.

Das **Lead Discovery Center (LDC)** hat eine Million Euro von der **Max-Planck-Förderstiftung** erhalten. Der Projektzuschuss wird für die Entwicklung von zwei innovativen Wirkstoffansätzen unter anderem aus dem Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik verwendet. Ferner hat das LDC mit **Qurient Co. Ltd.** ein Lizenzabkommen über CDK7-Inhibitoren unterzeichnet. Zielindikationen sind Krebs, Entzündungen und virale Infekte. Darüber hinaus ist das LDC Kooperationen mit verschiedenen Partnern eingegangen, darunter mit dem **Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung**, mit **AstraZeneca**, **Johnson & Johnson Innovation** und **Infinity Pharmaceuticals**, um die Entwicklung verschiedener Wirkstoffe voranzutreiben.

Das am **Life Science Inkubator (LSI)** angesiedelte Ausgründungsprojekt **Bomedus GmbH**, das ein „intelligentes Rückenband“ zur Reduktion von chronischen Schmerzen entwickelt hat, konnte 2015 im Rahmen einer strukturierten Finanzierungsrunde rund 2,5 Millionen Euro zusätzliches

The spin-off project, **Bomedus GmbH**, located at the **Life Science Incubator (LSI)**, which has developed an “intelligent back belt” to reduce chronic pain, succeeded in raising around 2.5 million euros of additional capital as part of a structured funding round. The start-up **NEUWAY Pharma GmbH** was able to lift its total volume to more than 5.8 million euros by extending its series A funding round by almost 3.2 million euros. The objective is the preclinical and clinical development of innovative therapeutics for treating rare diseases of the central nervous system on the basis of a proprietary CNS drug delivery platform. The collaborating **LSI Pre-Seed Fund** also succeeded in acquiring around seven million euros of new funds, and on this basis extending its fruitful collaboration with the LSI by a further five years.

**IT Inkubator GmbH** was officially opened in Saarbrücken in March 2015. Ideas and inventions arising from research projects at Saarland University and the Max Planck Society in the field of informatics are to be refined on the university campus and then marketed for application.

The first project accepted by the **Photonics Incubator, Fiber-Lab**, was awarded first place in the start-up category in the innovation prize sponsored by the district of Göttingen in 2015.

## MPG-AUSGRÜNDUNGEN SEIT 1990 | MPS SPIN-OFFS SINCE 1990

117 Ausgründungen, davon	117 spin-offs of which
83 Projekte aktiv von Max-Planck-Innovation begleitet	83 projects actively managed by Max Planck Innovation
57 mit Venture Capital und/oder durch Privatinvestoren finanziert	57 financed with venture capital and/or through private investors
7 börsennotierte Firmen	7 listed companies
24 M&A-Deals	24 M&A deals
ca. 3.000 Arbeitsplätze	approx. 3,000 jobs
7 Beteiligungen von Max-Planck-Innovation, davon 6 aktive Beteiligungen	7 shareholdings by Max Planck Innovation, 6 of which are active shareholdings
40 MPG-Beteiligungen, davon 14 Exits, 3 Liquidationen und 8 Abschreibungen	40 MPS shareholdings, 14 exits, 3 liquidations and 8 write-offs

Stand 31.12.2015 | [as of 31.12.2015](#)

Kapital einwerben. Das Start-up **NEUWAY Pharma GmbH** konnte durch die Erweiterung der Serie-A-Finanzierungsrunde um knapp 3,2 Millionen Euro das Gesamtvolumen auf mehr als 5,8 Millionen Euro erhöhen. Ziel ist die präklinische und klinische Entwicklung von innovativen Therapeutika für die Behandlung von seltenen Erkrankungen des zentralen Nervensystems auf Basis einer proprietären ZNS-Drug-Delivery-Plattform. Ferner konnte der kooperierende **LSI Pre-Seed Fonds** rund sieben Millionen Euro neue Mittel einwerben und auf dieser Basis die erfolgreiche Kooperation mit dem LSI um weitere fünf Jahre verlängern.

Im März 2015 wurde die **IT Inkubator GmbH** in Saarbrücken offiziell eröffnet. Ideen und Erfindungen, die aus Forschungsprojekten der Saarbrücker Universität und der Max-Planck-Gesellschaft im Bereich Informatik entstehen, sollen auf dem Universitätscampus weiterentwickelt und dann für die Anwendung vermarktet werden.

Das erste am **Photonik Inkubator** angenommene Projekt **FiberLab** hat 2015 den Ersten Platz in der Kategorie Gründung beim Innovationspreis des Landkreises Göttingen erhalten. Das Gründer-Team hat einen Sensor entwickelt, der auf dem Prinzip des sogenannten Faser-Bragg-Gitters basiert.

#### ÖFFENTLICHE VORGRÜNDUNGSFÖRDERUNG

Max-Planck-Innovation unterstützt Wissenschaftler auch bei der Einwerbung von Fördergeldern für ihre Gründungsvorhaben. So hat mit **Ambiverse** ein vielversprechendes Ausgründungsprojekt des **Max-Planck-Instituts für Informatik** im Rahmen des **EXIST-Forschungstransfer** Mittel für die Weiterentwicklung seiner Technologie und des Geschäftsmodells erhalten. Ambiverse hat eine neue Software zum maschinellen Verstehen von Texten entwickelt. Auch **ultralumina**, ein Ausgründungsprojekt des **Max-Planck-Instituts für die Physik des Lichts**, konnte 2015 Fördergelder vom **EXIST-Forschungstransfer** einwerben. Das Projekt will mit Produkten aus dem Bereich der Photonik Anwendungen in der Halbleiterindustrie und der Materialbearbeitung verbessern.

Ein Projekt aus dem **Max-Planck-Institut für Psychiatrie** konnte Fördermittel über den **Vorgründungswettbewerb m<sup>4</sup> Award** einwerben. Das Projekt erforscht sogenannte selektive FKBP51-Inhibitoren als mögliche Wirkstoffe gegen Fettleibigkeit. In der Fördermaßnahme **Validierung des Innovationspotenzials wissenschaftlicher Forschung – VIP** erreichte das Projekt **iPAM** eine Verlängerung. In dem

The founding team has developed a sensor based on the principle of the so-called Fiber Bragg Grating.

#### PUBLIC PRE-SEED FUNDING

Max Planck Innovation also supports scientists in raising funding for their start-up projects. **Ambiverse**, for example, a highly promising spin-off project from the **Max Planck Institute for Informatics**, has received funds for developing its technology further and refining its business model as part of **EXIST Transfer of Research**. Ambiverse has developed new software to enable machines to understand text. **ultralumina**, a spin-off project from the **Max Planck Institute for the Science of Light**, was also able to raise funds from **EXIST Transfer of Research** in 2015. The project is intended to improve applications in the semiconductor industry and material processing with products from the field of photonics.

A project from the **Max Planck Institute of Psychiatry** was successful in raising funds through the **pre-seed funding competition m<sup>4</sup> Award**. The project is researching so-called selective FKBP51 inhibitors as possible agents against obesity. The **iPAM** project won an extension in the **Validation of the Innovation Potential of Scientific Research – VIP** funding programme. In the project at the **Max Planck Institute for Biophysical Chemistry**, a full-screen microscope is being developed and validated which is significantly faster by comparison with traditional techniques, for example for three-dimensional measurements of fluorescence. The **LEAP (low-energy anti-fibrillation pacing)** project from the **Max Planck Institute for Dynamics and Self-Organization** has received an extension in the “**GO-Bio – Biotechnology Start-up Offensive**” programme. The money will be used to develop a Low Energy Defibrillator.

#### EVENTS

Together with leading German research organizations, Max Planck Innovation invited guests to attend the fourth **Innovation Days** in Berlin. With the focus on the fields of nutritional research, crop science as well as photonics and sensor technologies, participants from industry and science were provided with a presentation of current research projects. The Innovation Days are an ideal platform to bring together innovative researchers, technology transfer experts, business development specialists from the business community and venture capital managers.

In 2015, Max Planck Innovation also co-hosted the **Biotech NetWorkshop** and the **Start-up Days**. Scientists from the Max Planck Society, the Fraunhofer Institute, the Helmholtz

Projekt am **Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie** wird ein im Vergleich zu herkömmlichen Techniken deutlich schnelleres Vollbild-Mikroskop zum Beispiel für dreidimensionale Fluoreszenzmessungen entwickelt und validiert. Darüber hinaus hat das Projekt **LEAP (low-energy anti-fibrillation pacing)** vom **Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation** eine Verlängerung im Programm „**GO-Bio – Gründungsoffensive Biotechnologie**“ erhalten. Mit dem Geld wird ein Niedrig-Energie-Defibrillator weiterentwickelt.

#### VERANSTALTUNGEN

Gemeinsam mit führenden deutschen Forschungsorganisationen hat Max-Planck-Innovation zu den vierten **Innovation Days** in Berlin eingeladen. Mit Fokus auf die Bereiche Ernährungs- und Kulturpflanzenforschung sowie Photonik und Sensortechnologien wurden Teilnehmern aus Industrie und Wissenschaft aktuelle Forschungsprojekte vorgestellt. Die Innovation Days sind eine ideale Plattform, um innovative Forscher, Technologietransferexperten, Business Development-Spezialisten aus der Wirtschaft und Venture Capital-Führungskräfte zusammenzubringen.

2015 war Max-Planck-Innovation zudem wieder Mitveranstalter des **Biotech NetWorkshop** und der **Start-up Days**. Gründungsinteressierte Wissenschaftler aus der Max-Planck- und der Fraunhofer-Gesellschaft, der Helmholtz- und der Leibniz-Gemeinschaft sowie der Medizinischen Hochschule Hannover erhielten im Rahmen von Vorträgen, Podiumsdiskussionen und interaktiven Workshops praxisrelevante Informationen und Erfahrungsberichte rund um die Gründung und Finanzierung von Unternehmen.

and Leibniz Associations, and Hannover Medical School, interested in starting their own companies, were given practical information and first-hand accounts on the subject of setting up and funding a company through presentations, panel discussions and interactive workshops.