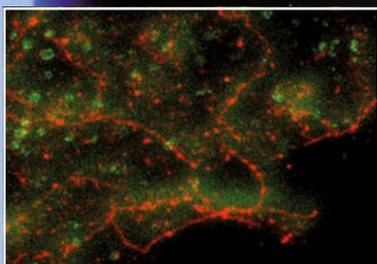
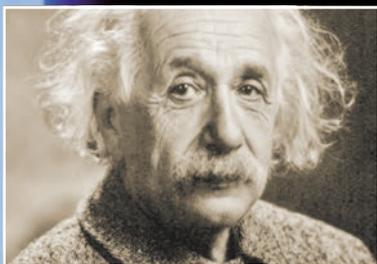
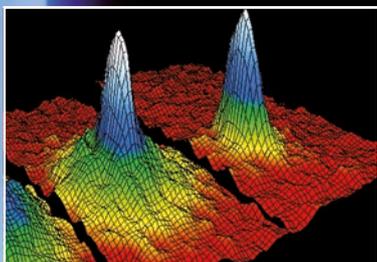


verbundjournal

Einsteins Erben

Unsere Forscher nutzen Relativitätstheorie,
Quanteneffekte, Laser und den photoelektrischen Effekt



Editorial



Liebe Leserin, lieber Leser,

das Verbundjournal ist 100! Das passt gut zum 100. Geburtstag der Allgemeinen Relativitätstheorie von Albert Einstein. In diesem Heft zeigen wir, in welchem Maße die Forschung in unseren Instituten auf den Arbeiten Einsteins aufbaut.

Albert Einstein ist auch bekannt für seine vielen schönen Zitate, die ihn – zusammen mit seiner genialen wissenschaftlichen Leistung – zum Star gemacht haben. Er lebte nicht zurückgezogen in seiner wissenschaftlichen Welt, sondern er war bereit, so zu reden, dass alle Menschen ihn und seine Ideen in einem gewissen Maße verstehen konnten. Er entsprach damit nicht dem Bild des entrückten Genies, das nur mit anderen genialen Forschern redet. Er gab sich sogar Blößen, was ihn umso sympathischer macht: „Seit die Mathematiker über die Relativitätstheorie hergefallen sind, verstehe ich sie selbst nicht mehr.“

Im Verbundjournal stellen wir die Wissenschaft unserer Forscher in allgemein verständlicher Form dar, um ihre spannende Forschung möglichst vielen Menschen zugänglich zu machen, getreu nach Einsteins Motto: „So einfach wie möglich. Aber nicht einfacher!“

Einstein hat aber nicht nur über Wissenschaft nachgedacht, für fast alle Lebenslagen hatte er einen klugen Spruch parat, so auch passend für den Start in ein neues Jahr: „Ich Sorge mich nicht um die Zukunft. Sie kommt früh genug.“

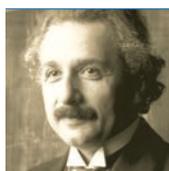
*Viel Spaß beim Lesen
wünschen Ihnen
Karl-Heinz Karisch und
Gesine Wiemer*

Inhalt

FORSCHUNG AKTUELL

Nachrichten.....	3
Direktorenkolumne: Das 100. Verbundjournal Von Henning Riechert.....	5

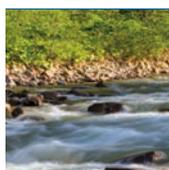
TITEL: Einsteins Erben



1915 legte Albert Einstein in Berlin mit der Allgemeinen Relativitätstheorie den Grundstein für die moderne Gravitationsphysik. Auch seine anderen Theorien werden von den Wissenschaftlern des FVB genutzt. Seite 6 »

Historiker Prof. Dieter Hoffmann: Einsteins revolutionäre Theorien.....	6
Forschung mit ultrakurzen Lichtimpulsen.....	8
Fotos aus dem biologischen Nanokosmos.....	10
Laser: Mehr Leistung bei erhöhtem Puls.....	12
Weltraumexperimente mit Quantensensoren.....	13
Die Mathematik des Bose-Einstein-Kondensats.....	14/15
GPS-Ortung: Auf der Spur der wilden Tiere.....	16

BLICKPUNKT FORSCHUNG



Angesichts des weltweiten Booms der Wasserkraft fordern IGB-Wissenschaftler verbesserte Standards für den Bau von Staudämmen. Noch gehörten Binnengewässer zu den artenreichsten Ökosystemen. Seite 18 »

IGB: Prof. Klement Tockner zu Biodiversität und Ernährung.....	19
IGB: Still und starr liegt der See.....	20
MBI: Laborquelle für ultrakurze Röntgenblitze.....	22

VERBUND INTERN



Der Weg des Kohlenstoffs vom Land ins Wasser und wieder zurück: Den Nachwuchswissenschaftlerinnen-Preis 2014 des Forschungsverbundes bekam die Biologin Dr. Kristin Scharnweber überreicht. Seite 23 »

PDI: Festival für Wissenschaft und Kunst.....	24
IGB: Dialog am Stechlinsee.....	25
FBH/MBI: Schreibwettbewerb und Vorträge zum Jahr des Lichts.....	25
FMP/PDI: Evaluierung mit Bestnoten.....	26
Aus der Leibniz-Gemeinschaft.....	26
Personen.....	27

Nachrichten



FMP

Bakterien mit Skelett: Struktur von Bactofilin aufgeklärt

Der Gruppe um Adam Lange im Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie (FMP) ist es gelungen, die Struktur von Bactofilin aufzuklären – einem wichtigen Element des bakteriellen Zytoskeletts, das erst vor kurzem entdeckt wurde. Bactofilin verleiht beispielsweise *Helicobacter*-Bakterien die Schraubenform, durch die sie sich in die Magenschleimhaut bohren und dort Entzündungen und Geschwüre auslösen können. Die Strukturaufklärung von Bactofilin könnte einen Ansatzpunkt für die Entwicklung dringend benötigter neuer Antibiotika liefern.

Generell lagern sich Bactofilin-Moleküle zu Filamenten zusammen, aus denen dann wiederum unterschiedliche höhergeordnete Strukturen entstehen können. Ihre Polymerisierung findet auch im Reagenzglas statt, was die Strukturaufklärung zu einer besonderen Herausforderung macht, denn Proteine, die sich weder in Flüssigkeiten lösen lassen noch Kristalle bilden, sind mit den gängigen Methoden nur schwer zu untersuchen. Für die Strukturaufklärung des Bactofilins wandte Adam Lange daher die noch relativ neue Technik der Festkörper-NMR an, die in den letzten zehn Jahren so weit entwickelt wurde, dass man damit auch komplexe Biomoleküle untersuchen kann. „Mit dieser Arbeit fängt für uns die Erforschung des Bactofilins erst an“, sagt Adam Lange. „Wir wollen nun die Struktur weiter bis ins atomare Detail verfeinern.“

DOI:10.1073/pnas.1418450112

IGB

Abholzung bedroht Artenvielfalt in Fließgewässern

Durch Abholzung droht ein Verlust der Artenvielfalt in angrenzenden Fließgewässern. Dies haben modellierte Szenarien eines Forscherteams mit Beteiligung des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei gezeigt. Anhand eines Flusseinzugsgebietes in Südchina demonstrierten sie, dass der Artenrückgang mit einem veränderten Wasserhaushalt zusammenhängt, der aus der Umwandlung von Waldflächen in Ackerland resultiert. Die Studie wurde kürzlich im Fachjournal „Ecohydrology“ veröffentlicht.

Fließgewässer-Abschnitte mit einer hohen Artenvielfalt könnten als Folge der Abholzung deutlich weniger werden – besonders da, wo der Landnutzungswandel am stärksten voranschreitet, wären beispielsweise Insektenlarven, Schnecken, Würmer und Egel gefährdet. Wirbellose Kleinstlebewesen gelten als Bioindikator für die Wasserqualität. Im untersuchten Fall liegt die Ursache der schwindenden Artenvielfalt im veränderten Wasserhaushalt. Je mehr Wald abgeholzt wird, umso mehr Wasser fließt während der Regenzeit in Flüsse und Bäche ab. Wird hingegen aufgeforstet, treten gegenteilige Effekte auf, u.a. können die Böden dann wieder mehr Wasser speichern.

Wie das Forschungsteam betont, liefern die Ergebnisse der Studie wissenschaftliche Grundlagen für eine nachhaltigere Raumplanung sowie ein künftiges Flächenmanagement, das den Wasserkreislauf der jeweiligen Region berücksichtigt. Ziel müsse es sein, die begrenzte Ressource Land so zu nutzen, dass einerseits der für die Nahrungsproduktion steigende Flächenbedarf gedeckt werden kann. Andererseits muss aber auch Raum für die notwendige Anpassung an globale Klimaveränderungen bleiben.

DOI: 10.1002/eco.1569

IZW

Modische Pferderassen schon vor Jahrtausenden

Über die Jahrtausende hinweg hat der Mensch, je nach Vorliebe, die Fellfarben der Haustiere immer wieder züchterisch verändert. Im Fall der Tigerscheckung bei Pferden konnte jetzt ein internationales Forscherteam den wechselhaften Zuchtverlauf seit Beginn der Domestikation vor ca. 5.500 Jahren rekonstruieren. Diese Studie unterstreicht den Wert der genetischen Diversität für die Zucht. Die Ergebnisse der Studie wurden im renommierten Fachjournal *Philosophical Transaction B* der Royal Society of London veröffentlicht.

Weißes Fell mit schwarzen Flecken: fast jedes Kind kennt den „Kleinen Onkel“, das Pferd von Pippi Langstrumpf.



Einzugsgebiet des Jangtsekiang-Flusses, Südchina. Hier wird Wald gerodet, um Platz für Ackerland und Teeplantagen zu schaffen.



Forscher haben herausgefunden, dass das Vorkommen dieser gesprenkelten Pferde, sogenannter Tigerschecken, im Laufe der Geschichte erheblich schwankte. Unter der Leitung von Wissenschaftlern des Leibniz-Instituts für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) hat ein internationales Forscherteam 96 archäologische Knochen und Zähne von Pferden, die aus der Zeit des späten Pleistozäns bis zum Mittelalter stammen, auf ihr Erscheinungsbild genetisch analysiert. Obwohl eine beachtliche Anzahl an Hauspferden aus der frühen Bronzezeit (2700 – 2200 v. Chr.) als Tigerschecken genetisch identifiziert werden konnte, scheint diese Fellfärbung gegen Ende des Zeitalters nahezu verschwunden zu sein. Einer der Gründe dafür könnte sein, dass reinerbige Tiere nachtblind sind. In freier Wildbahn sind nachtblinde Tiere kaum überlebensfähig. In der menschlichen Obhut sind sie als nervöse und zaghafte Tiere beschrieben. Im Laufe der Geschichte kamen Tigerschecken immer mal wieder in Mode, so etwa im Mittelalter und in der Barockzeit. Heutzutage ist die genetische Vielfalt und damit die Möglichkeit der Zucht stark eingeschränkt.

DOI: 10.1098/rstb.2013.0386

Neue Hoffnung für Orang-Utans auf Borneo

Eine neue Untersuchung zeigt, dass trotz der Bedrohung durch Klimawandel und Abholzung große Waldgebiete auf Borneo geeignet sind, um Orang-Utans

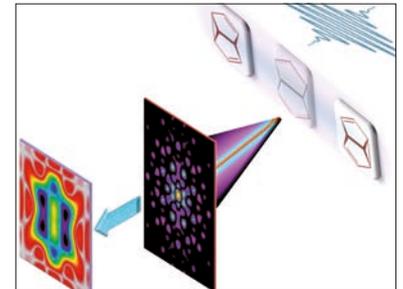
auch in den nächsten Jahrzehnten Lebensraum bieten zu können, wenn diese ausreichend geschützt werden. Die auf Borneo lebenden und vom Aussterben bedrohten Orang-Utans könnten durch zukünftigen Klimawandel und Landnutzungsveränderungen bis zu 74 Prozent ihres Lebensraumes verlieren. Bei den Untersuchungen wurden jedoch auch Waldgebiete mit einer Gesamtfläche von bis zu 42.000 km² identifiziert, die als potenzielle Zuflucht für die Orang-Utans auf Borneo dienen könnten. In diesen Gegenden könnten die Menschenaffen einen neuen Lebensraum finden. Die Studie wurde im Fachjournal *Global Change Biology* veröffentlicht, neben IZW-Forschern waren Wissenschaftler am Durrell Institute of Conservation and Ecology (DICE) der Universität Kent in Großbritannien und weitere internationale Partner beteiligt.

DOI: 10.1111/gcb.12814

MBI

Filmen von Chemie in Echtzeit mit der Hochgeschwindigkeits-Röntgenkamera

In chemischen Reaktionen lagern sich Atome in bzw. zwischen Molekülen um, während chemische Bindungen gebildet und gebrochen werden. Diese chemischen Bindungen bestehen aus Valenzelektronen. Dementsprechend ist die Bewegung von Valenzelektronen zentraler Bestandteil von jeder chemischen Reaktion. Dabei nimmt lediglich ein Bruchteil dieser Valenzelektronen – oft nur ein kleiner Teil der Ladung eines Elektrons – aktiv an chemischen Reaktionen teil. Die Aufnahme dieser chemisch aktiven Valenzelektronen mit einer Kamera ist bislang nicht möglich. MBI-Forscher haben nun einen entscheidenden Schritt dazu beigetragen, die Bildung und den Bruch von chemischen Bindungen in Echtzeit mit atomarer Ortsauflösung aufzunehmen. Sie haben eine Methode vorgestellt, mit der Informationen über chemisch aktive Valenzelektronen aus den Röntgenstreubildern eines einzelnen Moleküls extrahiert werden können. Die



Aufnahme des Bruchs und der Bildung von chemischen Bindungen während einer perizyklischen Reaktion: Wir zeigen theoretisch, dass die ultraschnelle Röntgenkamera nicht nur sensitiv gegenüber von chemisch inerten Rumpfelektronen ist, sondern auch die Bewegung von chemisch aktiven Valenzelektronen visualisieren kann.

Arbeit liefert zudem einen experimentellen Zugang zu dem viel diskutierten Problem von synchroner gegen asynchrone Bindungsbildung und Bindungsbruch in chemischen Reaktionen. Wenn die Atome genügend Energie haben, um die Energiebarriere, welche Reaktanden von Produkten trennt, zu überqueren, gibt es eine Verzögerungszeit zwischen dem Bruch von alten und der Bildung von neuen Bindungen. Müssen die Atome jedoch auf das Quantenphänomen des Tunnelns durch die Energiebarriere zurückgreifen, gibt es keine Verzögerung: Der Bruch der alten und die Bildung der neuen Bindungen sind synchron.

DOI: 10.1038/ncomms6589

IGB

Grenzzone im urbanen Wasserkreislauf

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) richtet zur Stärkung des wissenschaftlichen Nachwuchses das Graduiertenkolleg „Urban Water Interfaces“ (UWI) ein, das in enger Kooperation der Technischen Universität Berlin und des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) durchgeführt wird. Es befasst sich mit städtischen Wasserkreisläufen und erforscht natürliche und technische Grenzzone, wie zum Beispiel Uferfiltration.



Direktorenkolumne

Das 100. Verbundjournal

Der urbane Wasserkreislauf ist insbesondere in Metropolregionen vielfältigen Belastungen hinsichtlich Wasserquantität und -qualität ausgesetzt. Hinzu kommen Klimawandel und demografischer Wandel, die mehr Extremereignisse (z.B. Wasserknappheit, Starkregen) und erhöhte Einträge von neuen, schwer abbaubaren Substanzen (z.B. Schadstoffe, Pharmaka) im Wasserkreislauf zur Folge haben. Damit die urbanen Wassersysteme unter den derzeitigen und den künftig zu erwartenden Bedingungen zuverlässig funktionieren, ist ein Management auf Grundlage eines soliden Systemverständnisses erforderlich. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des neuen Graduiertenkollegs legen dabei ihren Fokus auf die Erforschung von Prozessen an Grenzzonen in urbanen Wassersystemen, um darauf aufbauend eine zukunftsorientierte nachhaltige Wasserwirtschaft in urbanen Räumen sicher zu stellen. Das Graduiertenkolleg nimmt zum Juli 2015 die Arbeit auf und wird zunächst für 4,5 Jahre gefördert. Die gesamte Fördersumme beträgt rund 4,8 Millionen Euro. Das Graduiertenkolleg wird von einem Sprecherteam geleitet. Zu ihm gehören Prof. Dr.-Ing. Reinhard Hinkelmann und Prof. Dr. Birgit Kleinschmit von der TU Berlin, Dr. Sabine Hilt vom IGB sowie Prof. Mark Gessner von der TU Berlin und dem IGB.



Fotos: Jodoros (Fotolia), Ilka Schuster

Wie viel unserer Wissenschaft haben wir über dieses Medium wohl an die Öffentlichkeit, an unsere Förderer, unsere Geldgeber, an die Politik vermittelt? Erreichen wir mehr als nur die, die sich sowieso persönlich oder professionell für die Wissenschaften interessieren? Können wir Menschen einen Zugang zu unserer Wissenschaftskultur ermöglichen, die gewöhnlich keinen Kontakt zur Wissenschaft haben und vielleicht seit Schulzeiten Abstand zu Chemie, Physik, Mathematik halten? Immer wieder müssen Übersetzungsmöglichkeiten ausprobiert werden.



Eine Szene, die wir bisher kaum erreicht haben dürften, wurde vor einigen Wochen in einer besonderen und bisher in Berlin einzigartigen Veranstaltung adressiert: das sind die Leute, die sich eher nicht den Naturwissenschaften zugehörig sehen, sich aber zum Beispiel als Künstler oder Designer von diesen fasziniert fühlen.

Das aus den Transferaktivitäten des PDI heraus entwickelte „Experience Science Festival“ STATE (s. S. 23) war eine Veranstaltung mit wissenschaftlichen Vorträgen zum Thema Zeit, mit wissenschaftlichen Kurzfilmen und Videoinstallationen, mit Podiumsdiskussionen, bei denen das Verhältnis zwischen Wissenschaft und Gesellschaft diskutiert wurde und mit einem Ableger des Science Hack Day. Die Zielgruppe waren neugierige und interessierte Leute zwischen Anfang 20 und Mitte 30, die über die Wechselwirkung zwischen Wissenschaft und Kunst einen Zugang zur Wissenschaft bekommen sollten.

Für mich war der Besuch dieser Veranstaltung – „Event“ könnte man auch sagen – etwas ganz anderes als die Lange Nacht der Wissenschaften oder ein Vortrag am Helmholtzplatz unter dem Motto „Humboldt unterwegs“. Etwa 1000 überwiegend junge Leute waren da, oft noch jünger als unsere Doktoranden. Und obwohl die meisten von ihnen nicht aus der wissenschaftlichen Szene kamen, gab die Mehrzahl von ihnen an, die wissenschaftlichen Vorträge als das interessanteste empfunden zu haben.

Viele von ihnen können sicherlich nur einen punktuellen, atmosphärischen Einblick in Wissenschaft erhalten haben, sind aber offensichtlich mit dem Gefühl dabei gewesen, etwas Spannendes erlebt zu haben. Wissenschaft als Event – das weckt bei uns Wissenschaftlern sicherlich das Unbehagen oder gar die Angst etwas Oberflächliches, Kurzlebiges zu schaffen. Es ist eine Gratwanderung. Überschreiten wir hier eine Grenze in „gutes“ oder in „schlechtes“ Neuland?

Fest steht, dass wir vom PDI hier deutlich mehr Besucher erreicht haben als bei der Lange Nacht der Wissenschaften und eine andere Altersgruppe obendrein. Das Ganze war ein Experiment und gemessen an der Teilnehmerzahl und an der Intensität der Diskussion nach den Vorträgen ein großer Erfolg. Vielleicht bestätigt sich hier das Wort von Albert Einstein: das Schönste was wir erleben können, ist das Geheimnisvolle. Ich finde es großartig, dass wir dies aus unserer Wissenschaft heraus vermitteln können.

Ihr Prof. Dr. Henning Riechert

Direktor des Paul-Drude-Instituts für Festkörperelektronik

DIETER HOFFMANN

In Berlin vollendete Albert Einstein seine revolutionären Theorien

„Im Sommer gehe ich nämlich nach Berlin als Akademie-Mensch ohne irgendwelche Verpflichtungen, quasi als lebendige Mumie. Ich freue mich auf diesen schwierigen Beruf.“ Dies schrieb Albert Einstein seinem Freund Jakob Laub im Herbst 1913. Einstein hat fast zwei Jahrzehnte in der Stadt gewirkt, die damals nicht nur Hauptstadt und politisches Zentrum, sondern auch der intellektuelle und wissenschaftliche Mittelpunkt Deutschlands war. Dies endete 1933 mit der Übernahme der Macht durch die Nationalsozialisten, die Einstein zusammen mit anderen jüdischen Wissenschaftlern als eine Symbolfigur sogenannter „jüdischer Wissenschaft“ und intellektuellen Repräsentanten der verhassten Weimarer Republik in die Emigration zwangen.

In den Jahrzehnten zuvor glänzte die Stadt namentlich in der Physik mit einer Fülle weltberühmter Gelehrter und exzellenter Forschungsinstitutionen. Diese hatten die allgemeine Entwicklung der Physik aufs engste mit der physikalischen Forschung in Berlin verknüpft. Einstein hat zu dieser wissenschaftlichen Hochkultur maßgeblich beigetragen. Zu nennen wären in diesem Zusammenhang seine Forschungen zur Quantentheorie, die u.a. die theoretischen Grundlagen für das Prinzip des Lasers formulierten oder die Bose-Einstein-Statistik begründeten, aber auch die experimentellen Arbeiten zum gyromagnetischen Effekt. In den Schatten gestellt werden diese herausragenden Arbeiten aber durch die Vollendung der Allgemeinen Relativitätstheorie, was ihm vor 100 Jahren hier in Berlin gelang. Im November 1915 legte er der Berliner Akademie eine Arbeit vor, in der er nach jahrelanger intensiver Suche die korrekte Formulierung der Feldgleichungen der Gravitation liefern und damit die moderne Gravitationstheorie begründen konnte. Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie wurde zum Ausgangspunkt der relativistischen Kosmologie und ihrer Weltmodelle. Obwohl damit die Revolution der klassischen Physik von Raum und Zeit zum Abschluss gebracht war, hielt sich die Begeisterung seiner Kollegen über diese physikalische Großtat zunächst in Grenzen, denn sie war ihrer Zeit voraus. Erst als Jahre später eine britische Sonnenfinsternis-Expedition Konsequenzen der Theorie experimentell bestätigen konnte, trat ein grundsätzlicher Wandel in der Rezeption der Theorie ein und Einstein fand nicht nur Akzeptanz unter seinen Fachkollegen, sondern wurde in den zwanziger Jahren plötzlich auch zu einer Person der Öffentlichkeit, zu einer wissenschaftlichen Kultfigur des anbrechenden Medienzeitalters.

Dass man auch schon zuvor vom physikalischen Genie Einsteins überzeugt war, hatte nicht zuletzt die Berufung Einsteins nach Berlin deutlich gemacht. Nachdem Einstein mit einer Fülle herausragender Arbeiten auf sich aufmerk-

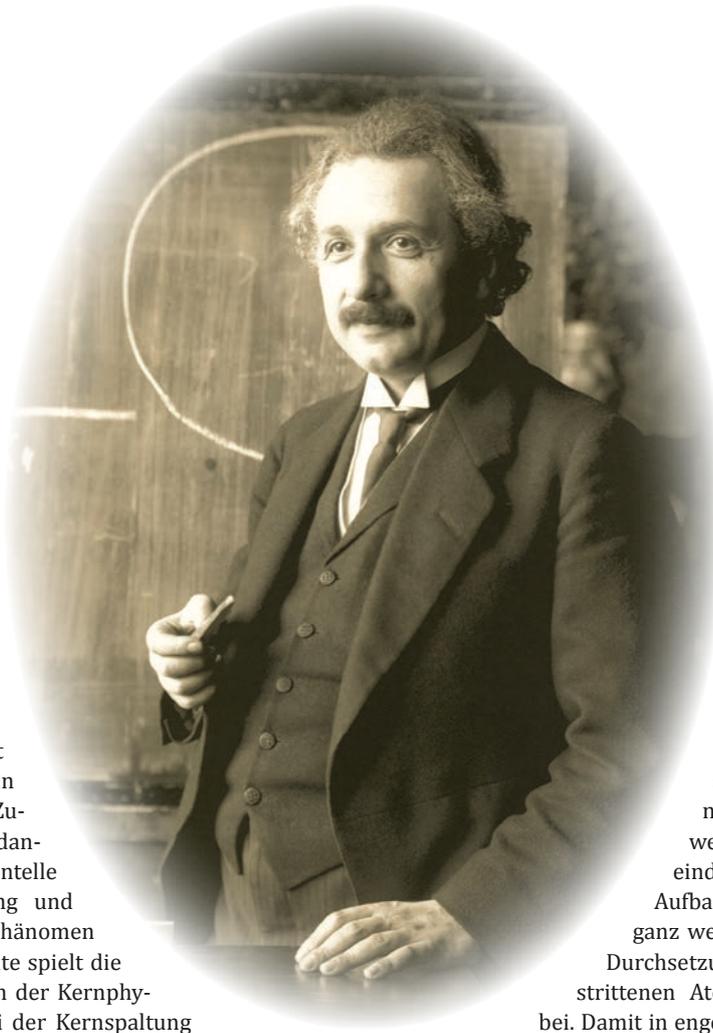
sam gemacht hatte, wollten die damaligen Mandarine der Berliner Physik den aufstrebenden Star der Physik unbedingt nach Berlin holen – nicht nur heute gilt: bright people attract bright people. Um dies zu erreichen, wurden ihm außerordentliche Arbeitsbedingungen eingeräumt. Als hauptamtliches Mitglied, d.h. Angestellter der Berliner Akademie sollte er sich quasi als (gut) „bezahltes Genie“ frei von Lehrverpflichtungen und anderen akademischen Pflichten allein den eigenen Forschungsinteressen widmen können. Die Grundlage für solch hohe Wertschätzung hatte Einstein insbesondere im Jahre 1905 gelegt. Dieses wird heute nicht nur als sein „Annus mirabilis“ bezeichnet, sondern es war auch ein Wunderjahr für die Physik schlechthin. Innerhalb eines guten halben Jahres wurden von Einstein vier Arbeiten publiziert, die man alle als revolutionär charakterisieren kann, denn sie gaben wichtige Anstöße für eine tiefgreifende Revolution in den Grundlagen der Physik. Eine in der Physik-, ja der Wissenschaftsgeschichte überhaupt einzigartige Dichte wissenschaftlicher Schaffenskraft und Kreativität.

Vergleichsweise unspektakulär lauten die Aufsatztitel: „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt“ (fertig gestellt am 17. März 1905), „Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen“ (11. Mai), „Zur Elektrodynamik bewegter Körper“ (30. Juni) oder „Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?“ (27. September).

So enthielt der Aufsatz zur Elektrodynamik die Grundlagen der Speziellen Relativitätstheorie, die vom Gesetz der Konstanz und Unerreichbarkeit der Lichtgeschwindigkeit ausgeht und einen neuen Raum- und Zeitbegriff begründete. Da sich damals viele Physiker mit den Schwierigkeiten bzw. Widersprüchen der klassischen Mechanik beschäftigten, aber keine schlüssige Lösung finden konnten, wurde Einsteins Problemlösung von den Zeitgenossen

als bahnbrechend, ja revolutionär empfunden. Die Konsequenzen dieser Arbeit führten wiederum zur wohl berühmtesten physikalischen Formel $E = mc^2$. Sie drückt die Äquivalenz zwischen Masse und Energie aus und wurde in einem ergänzenden Aufsatz im Herbst 1905 dargelegt. Einstein machte sich in diesem Zusammenhang auch Gedanken um eine experimentelle Prüfung der Beziehung und verwies dabei auf das Phänomen der Radioaktivität. Heute spielt die Formel insbesondere in der Kernphysik – Massendefekt bei der Kernspaltung und -fusion –, aber auch in der Elementarteilchenphysik, Teilchenbeschleunigung und -umwandlung, eine zentrale Rolle. Ansonsten wird die Einsteinsche Relativitätstheorie immer dann entscheidend, wenn sich die Geschwindigkeit der betrachteten Vorgänge der Lichtgeschwindigkeit annähert.

Im Vergleich zur Elektrodynamik bewegter Körper blieb Einsteins Abhandlung über die Erzeugung und Verwandlung des Lichts zunächst weitgehend unbeachtet und stieß vielfach sogar auf vehemente Ablehnung, obwohl sie heute wohl als die wichtigste und folgenreichste Arbeit Einsteins anzusehen ist. Sie griff die bislang praktisch unrezipiert gebliebene Plancksche Quantenhypothese auf und behauptete die Existenz sogenannter Lichtquanten – d.h. das Licht sollte im Gegensatz zur damals fest etablierten und überaus erfolgreichen elektromagnetischen Wellentheorie Teilcheneigenschaften besitzen. Dies war eine damals kühne und revolutionäre Hypothese, die Max Planck, Doyen der Berliner Physiker und Vater der Quantentheorie, noch 1913 anlässlich der Aufnahme Einsteins in die Akademie mit den Worten abqualifizierte, dass hier Einstein „in seinen Spekulationen gelegentlich auch einmal über das Ziel hinausgeschossen habe ... wird man ihm nicht allzu schwer anrechnen dürfen, denn ohne einmal ein Risiko zu wagen, lässt sich auch in der exaktesten Naturwissenschaft keine wirkliche Neuerung einführen“. Die Entwicklung der Physik mit den vielfältigen quantentheoretischen Anwendungen des Lichtquantenkonzepts hat Plancks Bedenken



Physikalische Kultfigur:
Albert Einstein im Jahr 1921.

glänzend widerlegt, zugleich aber auch dessen Maxime bestätigt: „Dem Anwenden muss das Erkennen vorausgehen.“

Last but not least, Einsteins Studie vom Mai 1905 über die Bewegung von mikroskopisch kleinen, in einer Flüssigkeit schwebenden Teilchen lieferte nicht nur das Gesetz der sogenannten Brownschen Bewegung, sondern bestätigte eindrucksvoll den atomaren Aufbau der Materie und trug ganz wesentlich zur endgültigen Durchsetzung des damals noch umstrittenen Atomismus in der Physik bei. Damit in engem Zusammenhang steht im Übrigen noch eine fünfte Arbeit Einsteins, die im April 1905 abgeschlossen wurde und den Titel „Eine neue Bestimmung der Moleküldimensionen“ trägt.

Sie ist zwar nicht so bedeutsam bzw. revolutionär wie die anderen vier Aufsätze und steht daher in deren Schatten, doch war sie für lange Zeit die Arbeit Einsteins mit der höchsten Zitiertrate. Verantwortlich hierfür ist die von Einstein entwickelte neuartige Methode zur Bestimmung der wahren Größe und Anzahl von Atomen und Molekülen. Sie bildete die Grundlage für eine Fülle praktischer Anwendungen namentlich in der physikalischen Chemie von Lösungen und nicht zuletzt in der chemischen Industrie. Für Einstein selbst war sie nicht zuletzt deshalb von großer Bedeutung, weil er damit endlich den Doktorgrad erwerben konnte. Im Januar 1906 wurde er mit dieser Arbeit an der Universität Zürich promoviert und legte damit die Grundlage für seine akademische Karriere. Deren erste Station war ebenfalls die Universität Zürich, die ihn nach seiner Habilitation (1908 an der Universität Bern) im Jahre 1909 zum außerordentlichen Professor für theoretische Physik berief. Über Prag und nach zwei weiteren Jahren in Zürich führte ihn sein akademischer Lebensweg schließlich im Frühjahr 1914 nach Berlin.

Prof. Dr. Dieter Hoffmann ist Wissenschaftshistoriker. Er lehrt an der Humboldt Universität zu Berlin und ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte.



CLAUS-PETER SCHULZ, JOCHEN MIKOSCH, JULIA BRÄNZEL, CHRISTIAN KOSCHITZKI,
MATTHIAS SCHNÜRER UND THOMAS ELSAESSER

Einstein und das Elektron – Photoeffekt, Relativitätstheorie und ultrakurze Lichtimpulse

Im Jahr 1905 hat Albert Einstein mehrere Arbeiten epochaler Bedeutung publiziert, welche die Entwicklung der modernen Physik stark beeinflusst haben und die Grundlage zahlreicher Anwendungen in der modernen Forschung mit Licht bilden.

Die später mit dem Nobelpreis ausgezeichnete Abhandlung „Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt“ enthält die erste korrekte Beschreibung des Photoeffekts. Eine zweite Publikation aus diesem Jahr enthält die Grundlagen der speziellen Relativitätstheorie, als Beispiel einer relativistischen Bewegung wird das Elektron in einem elektrischen Feld diskutiert. Wichtige Forschungsarbeiten des MBI sind in diesen Bereichen angesiedelt.

Ultrakurze Lichtimpulse und Photoelektronen

Einsteins Deutung des Photoeffekts beruht auf den folgenden experimentellen Befunden (Abb. 1 oben): Bestrahlt man eine Metalloberfläche mit einfarbigem Ultraviolettlicht, werden Elektronen vom Metall in den freien Raum angeregt. Alle ausgelösten Elektronen besitzen die gleiche Bewegungsenergie, welche nur von der Farbe des Lichts und der Art des Metalls abhängt. Nach Einstein entspricht die kinetische Energie der Elektronen genau der Quanten-

energie der Photonen, die durch ihre Wellenlänge (Farbe) bestimmt ist, abzüglich der Austrittsarbeit der Metalloberfläche. Eine höhere Lichtintensität führt demnach nicht zu einer höheren Elektronenenergie, sondern nur zum Entstehen von mehr Photoelektronen gleicher Energie.

Einstein wusste noch nicht, dass bei sehr hohen Lichtintensitäten auch mehrere Photonen gleichzeitig absorbiert werden können. Diese im Jahre 1930 erstmals von Maria Goeppert-Mayer beschriebene Mehrphotonenabsorption ist ein erster Grundstein der nichtlinearen Spektroskopie. Wird die Metalloberfläche mit einem sehr intensiven Lichtimpuls bestrahlt, weist die Energieverteilung der Photoelektronen diskrete Maxima bei Vielfachen der Photonenergie auf (Abb. 1 unten). Im Gegensatz zum Einstein'schen Photoeffekt hängen jetzt die genauen Energien von der Intensität des Lichtimpulses ab, da das Lichtfeld die Elektronen zusätzlich beschleunigt, d.h. ein sog. ponderomotives Potential erzeugt.

Bei noch höheren Intensitäten um 10^{14} W/cm², die sich mit Lasern des MBI erzeugen lassen, ist die Stärke des Lichtfelds vergleichbar zum elektrischen Feld im Atom. Das elektrische Potential eines Atoms oder Moleküls wird in einem derartigen Lichtfeld so stark verzerrt, dass gebundene Elektronen durch die verbleibende Energiebarriere ins Vakuum tunneln können, ein genuin quantenmechanischer Effekt. Ein freigesetztes Elektron wird dann im Lichtfeld extrem stark beschleunigt und kann – bei geeigneter Phase des Lichtfelds – zu dem Atom oder Molekül zurückkehren, aus dem es stammt. Dort kann es mit ihm rekombinieren, wobei seine gesamte Energie in ein Photon umgewandelt wird. Da die Periode des treibenden Laserfeldes nur wenige Femtosekunden ($= 10^{-15}$ s) beträgt und der Rekombinationszeitpunkt für alle freigesetzten Elektronen etwa gleich ist, kann man mit diesem Prozess Lichtimpulse von nur etwa hundert Attosekunden ($= 10^{-16}$ s) Dauer erzeugen.

Attosekundenimpulse sind eine wichtige Sonde für die schnellen Elektronenbewegungen in Molekülen. Würde es gelingen, Elektronenbewegungen im Zeitbereich von einigen hundert Attosekunden bis wenigen Femtosekunden zu manipulieren, könnte man molekulare Prozesse mit unerreichter Präzision steuern. In den letzten Jahren haben

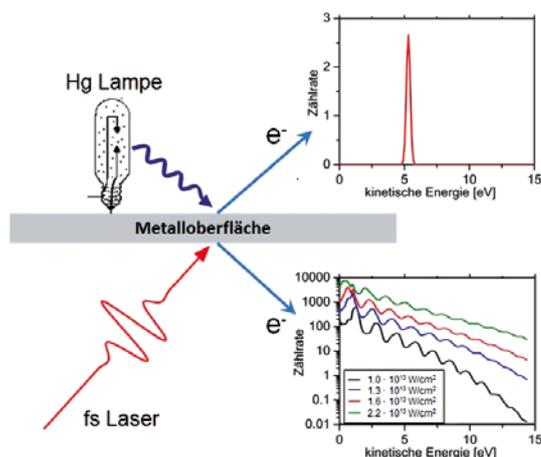


Abb. 1: Der Photoeffekt, wie er von Einstein vorhergesagt wurde (oben). Bei Bestrahlung der Metalloberfläche mit sehr intensiven Laserimpulsen ändert sich das beobachtete Energiespektrum der Photoelektronen grundlegend (unten).

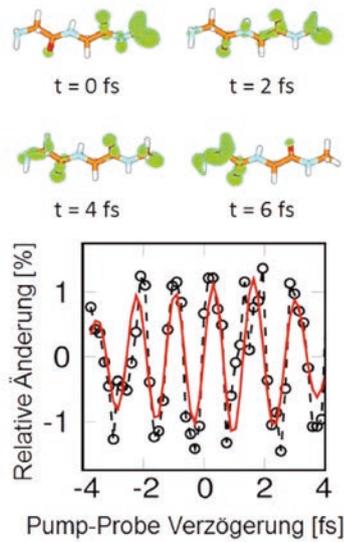


Abb. 2 Computersimulation einer photoinduzierten Elektronendynamik. Innerhalb weniger Femtosekunden bewegt sich der Ladungsüberschuss vom linken zum rechten Ende des Moleküls (oben). Die laserinduzierte Ladungszosillation in einem CO₂-Molekül kann in einem Pump-Probe Experiment an Hand der Änderung der Ionisationsrate beobachtet werden (unten).

theoretische Arbeiten Attosekundendynamik in Molekülen in Computersimulationen untersucht (Abb. 2 oben). Ein erster experimenteller Schritt besteht in der Sichtbarmachung ultraschneller Elektronenbewegungen, was erstmals in den Attosekundenlaboratorien des MBI gelang. Dabei polarisiert ein Infrarotlaser Moleküle und induziert in ihnen ein mit dem Laserfeld oszillierendes Dipolmoment. Ein phasenstarrer Attosekundenimpulszug fragt diese ultraschnelle Dynamik durch Photoionisation der Moleküle, d.h. den Photoeffekt, ab. Je nach Phase zwischen dem Attosekundenimpulszug und dem synchronen Infrarotlaser variiert dabei die Ionisationswahrscheinlichkeit auf der Attosekundenzeitskala (Abb. 2 unten).

Die träge Masse eines Teilchens wird umso größer, je mehr sich seine Geschwindigkeit der Lichtgeschwindigkeit nähert – diese zentrale Aussage der speziellen Relativitätstheorie hat weitreichende Konsequenzen für die Teilchenbeschleunigung. Elektronen lassen sich in den starken elektrischen Feldern großer Beschleuniger auf Bewegungsenergien im Bereich von Gigaelektronenvolt bringen, wo sie sich mit 99,99 % der Lichtgeschwindigkeit bewegen. Ein völlig anderer Ansatz ist die Teilchenbeschleunigung in einem Plasma, einem Gemisch aus Elektronen und positiv geladenen Atomrümpfen (Ionen). Ein Plasma lässt sich mit einem Laser erzeugen, der in kleinsten Volumina extrem hohe Energiekonzentrationen in Form von gebündeltem Licht liefert und lokal Feldkonfigurationen zur Teilchenbeschleunigung aufbaut. Hierbei werden die relativistischen Effekte der Licht-Materie-Wechselwirkung ausgenutzt.

Relativistische Teilchenbeschleunigung mit Höchstfeldlasern

Vor über 30 Jahren wurde in Computersimulationen gezeigt, dass intensive Laserimpulse, die in einer Plasmasäule propagieren, eine hohe Anzahl von Elektronen auf Bewegungsenergien im Bereich von Gigaelektronenvolt beschleunigen. Diese sog. Kielwellenbeschleunigung beruht auf einem einfachen Prinzip: Ein in Wasser bewegtes Objekt erzeugt im Schlepptau eine Kielwelle, die sich mit ihm bewegt. Den Effekt benutzen Surfer, um entlang einer Welle Fahrt aufzunehmen. Im Plasma werden surfende Elektronen auf einer durch einen Laserimpuls angeregten Ladungswelle auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Nach diesem Prinzip lassen sich mit Femtosekundenimpulsen aus modernen Hochleistungslasern wie etwa am MBI sehr kompakte Beschleuniger bauen, die auf nur wenigen Quadratmetern einer Laser-Plasma-Beschleunigerapparatur (Abb. 3) ähnliche Teilchenenergien erzeugen können wie im Speicherring von BESSY II mit 240 Meter Umfang.

Die Forschungsarbeiten am MBI konzentrieren sich gegenwärtig auf die Kontrolle und Stabilität des Beschleunigungsprozesses. Die richtige Injektion von Elektronen im Wellenfeld ist essentiell, um eine hohe Reproduzierbarkeit zu erreichen und die Teilchenstrahlen auf Haaresbreite bündeln zu können. Abbildung 4 verdeutlicht, wie man die Injektion durch einen technischen Trick beeinflusst, damit die Energie der Elektronen steuert und die Beschleunigungsfeldstärke ausmessen kann. Derartige Grundlagenuntersuchungen sind eine wesentliche Voraussetzung, um eine neue Generation kompakter Teilchenbeschleuniger für vielfältige Anwendungen und einen breiten Nutzerkreis zu entwickeln.

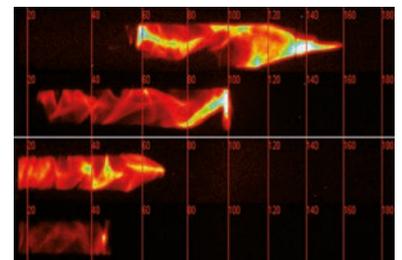


Abb. 4: Abhängigkeit der erzeugten Elektronenenergie in MeV vom Injektionspunkt im Plasmawellenfeld: Die Beschleunigungsfeldstärke ergibt sich zu 100 MV/mm.



Abb. 3: Apparatur im Höchstfeldlaserlabor des MBI zur lasergetriebenen Elektronenbeschleunigung im Plasma. Hintergrund: Strahlungsschirmung, eingebautes Spektrometer und Kammer zur Laser-Plasma-Wechselwirkung. Vordergrund: Kammer zur Laserstrahlführung und Fokussierung.

Fotos aus dem Nanokosmos

KARL-HEINZ KARISCH

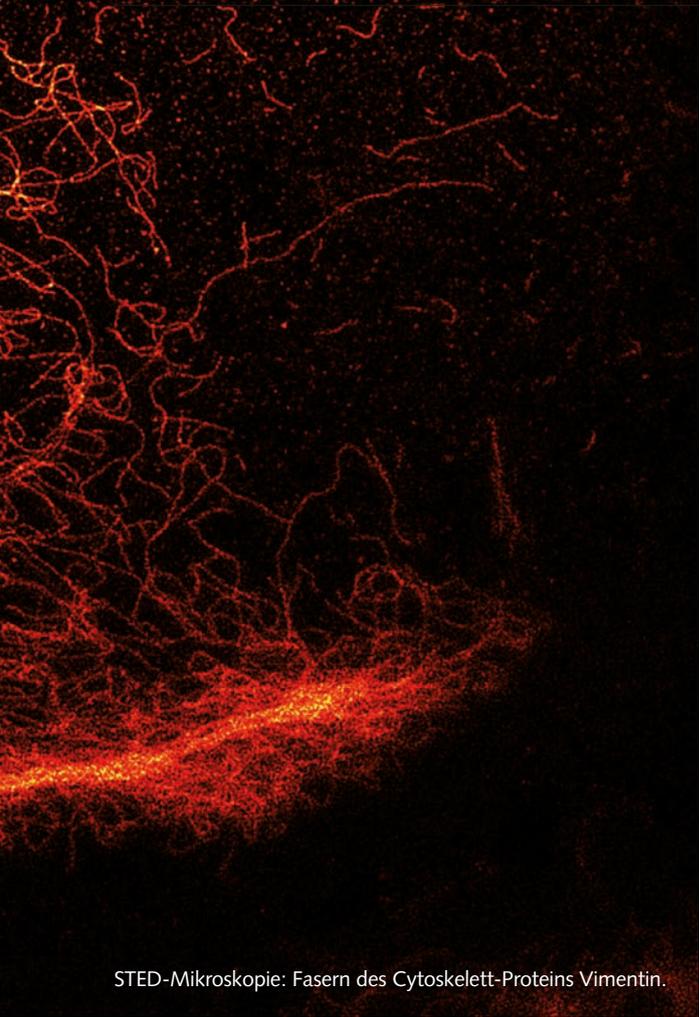
Wissenschaftler würden gerne Nervenzellen direkt beim Arbeiten zusehen. Wegen der physikalischen Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops galt das lange Zeit als unmöglich. Aber dank einiger Theorien Albert Einsteins lässt sich das sogenannte Abbe-Limit raffiniert umgehen. Forscher am Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie (FMP) nutzen bereits drei verschiedene Super-Resolution-Mikroskope, die bis auf wenige Nanometer genau abbilden können.

Ohne Einstein läuft hier nichts“, sagt Dr. Jan Schmoranz, Gruppenleiter Super-Resolution-Microscopy am FMP. Schwungvoll öffnet er die Labortür zu den Räumen, wo die Wissenschaftler tief in den Aufbau des Lebens blicken. „Wir studieren hier den Feinaufbau der Strukturen in der Zelle, die im normalen Lichtmikroskop nicht klar unterscheidbar sind“, erläutert Schmoranz. Auf seinem Bildschirm im Labor deutet er auf eine Aufnahme des Cytoskeletts, eines aus Proteinen aufgebauten Netzwerks von Gerüstproteinen innerhalb der Zelle. „Diese Mikrotubuli haben einen Durchmesser von 25 Nanometern, die würde man im normalen Lichtmikroskop nicht klar erkennen können“, sagt Schmoranz. Inzwischen sei die Technik sogar so weit fortgeschritten, dass mit mehreren Farben auch komplexe Strukturen wie Membraneinstülpungen in die Zellmembran während zellulärer Aufnahmevorgänge oder gar einzelne mit Botenstoff beladene

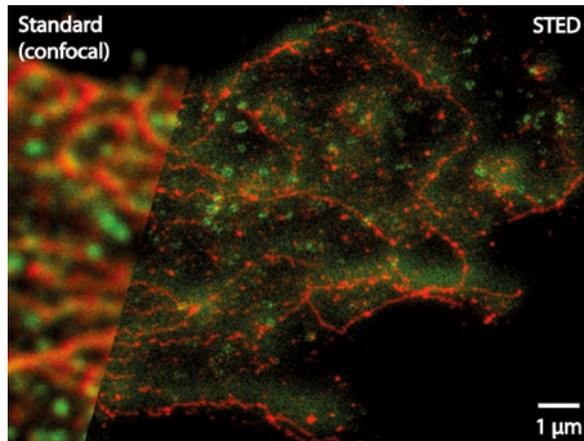
Vesikel in Nervenzellen hoch aufgelöst abgebildet werden können.

Die grundlegenden physikalischen Ideen stammen von Albert Einstein. Von der Planck'schen Strahlungsformel ausgehend stellte er 1916 fest, dass ein Strahlungsfeld nicht nur zur Absorption von Photonen führen kann. Er beschrieb die stimulierte oder induzierte Emission als Umkehrung der Absorption. Dieser von Einstein theoretisch vorausgesagte Effekt wurde zwar bald experimentell nachgewiesen, aber die Tür zur praktischen Physik öffnete sich erst 1960 mit dem Bau des ersten Lasers durch Theodore Maiman.

Zwar kann auch ein Laser nicht unter die von Ernst Abbe 1873 berechnete Auflösungsgrenze der Lichtmikroskopie gelangen. Aber mit Hilfe von trickreich angeordneten Lasern, Fluoreszenzfarbstoffen und der Rechenleistung heutiger Computer geht es dann doch. Bei der gerade



STED-Mikroskopie: Fasern des Cytoskelett-Proteins Vimentin.

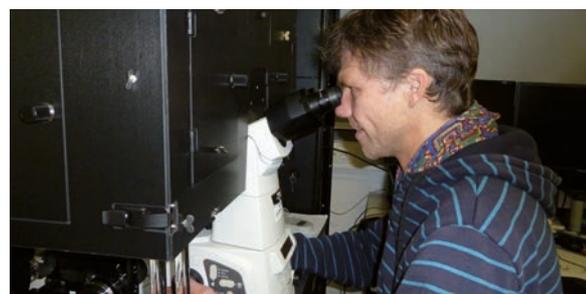


Ein bösartiger Gehirntumor ist das Glioblastom. Links mit konfokaler Fluoreszenz-Mikroskopie aufgenommen, rechts mit dem hochauflösenden STED-Mikroskop. Das Protein Clathrin ist grün, das Protein β -Tubulin rot angefärbt.

mit dem Nobelpreis ausgezeichneten STED-Mikroskopie (Stimulated Emission Depletion – stimulierte Emissionslöschung) von Max-Planck-Forscher Prof. Stefan W. Hell wird zunächst ein Laserstrahl auf eine mit Fluoreszenzfarbstoff markierte biologische Probe gerichtet. Die Farbstoffmoleküle werden in einen höheren Energiezustand gebracht. Bevor aber die Moleküle in den Grundzustand zurückspringen und dabei Photonen aussenden, wird ein schlauchförmiger Makkaroni-Laserstrahl auf den ersten Laserpunkt gerichtet. Der raubt den angeregten Molekülen ringförmig ihre Photonen, übrig bleibt ein winziger Punkt in der Mitte. Dieser noch leuchtende Fleck kann deutlich kleiner sein als die mit normaler Lichtmikroskopie mögliche Auflösung von 200 Nanometern (ein Nanometer entspricht einem Millionstel Millimeter). Die biologische Probe wird dann quasi abgerastert, der Computer errechnet aus den Messpunkten ein extrem detailreiches Bild. Den Forschern sind auf diese Weise bereits Aufnahmen bis hinunter zu drei Nanometern Auflösung gelungen.

Bis in den atomaren Bereich können zwar auch Elektronen- oder Rasterkraftmikroskope abbilden. Für einen Blick in lebende biologische Strukturen sind sie aber nicht geeignet. Elektronenmikroskope arbeiten unter Vakuum, das Rasterkraftmikroskop kann nur Oberflächen abtasten. Für die biomedizinische Grundlagenforschung hat sich deshalb die Fluoreszenzmikroskopie als wichtigste bildgebende Methode herauskristallisiert. „Wir benutzen Antikörper, um an ganz bestimmte Strukturen in der Zelle anzudocken“, berichtet Schmoranzer. „Diese Antikörper wiederum sind mit ganz speziellen Fluoreszenzfarbstoffen, sogenannten Fluorophoren, verknüpft.“

Neben STED gibt es weitere Verfahren, die sich ebenfalls die besonderen Eigenschaften von Fluoreszenzfarbstoffen zunutze machen. So beruht die Stochastic Optical Reconstruction Microscopy (STORM) auf einem lasergesteuerten Ein- und Ausschalten der Fluoreszenz in Molekülen. Durch eine Computerberechnung lässt sich die Position einzelner Moleküle bestimmen. Das Structured Illumination Microscopy (SIM) nutzt spezielle Beleuchtung und Streifenmuster. Hergestellt werden so mehrere Bilder, die im Computer verarbeitet werden. „Von der Auflösung her ist STORM am besten, dann kommen STED und SIM“, erläutert Schmoranzer. Aber da jede Methode andere Vor- und Nachteile habe, ergänzen sie sich perfekt. „Laser sind für alle drei Methoden notwendig. Man sieht wirklich Strukturen im Nanometerbereich, die sonst miteinander verschwimmen würden.“ Mit diesen Techniken der Hochauflösungsmikroskopie erhoffen sich die Forscher am FMP nun grundlegend neue Erkenntnisse über den subzellulären Nanokosmos und wie Fehlfunktionen zu Krankheiten wie Krebs, Epilepsie oder Alzheimer führen.

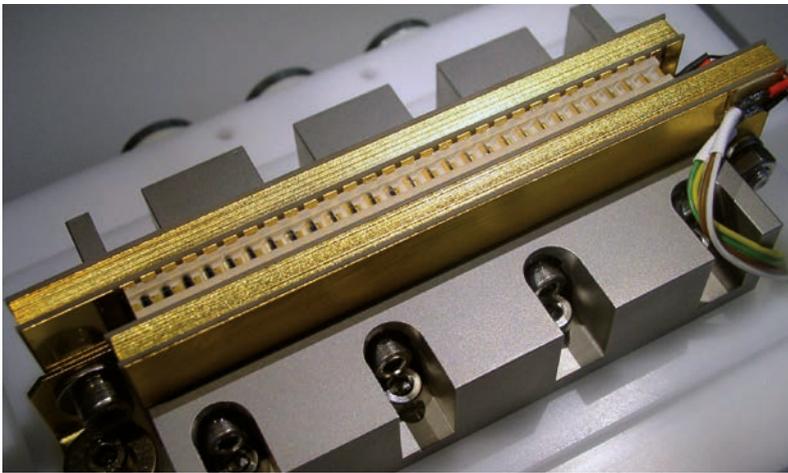


Jan Schmoranzer am Mikroskop.

CATARINA PIETSCHMANN

Mehr Leistung bei erhöhtem Puls

Bereits 1916 hatte Albert Einstein die stimulierte Emission postuliert und damit eine wesentliche Voraussetzung für Laser gefunden. Doch selbst Einstein wäre wohl verblüfft gewesen, welche Konsequenzen seine Ideen heute im Alltag haben.



Barrenmodul – zwei dieser Module bilden ein Pumpmodul für kW-Laser. Dieser besteht insgesamt aus 56 einzelnen Laserdioden, die zusammen eine Pumpleistung von 6 J mit einer 200 Hz Wiederholrate liefern.

Grammophone, in denen Laser Musik berührungsfrei zum Klingen bringen; Informationen, die statt mühsam mit der Telegrafie durch Licht geleitet und blitzschnell via Glasfaserkabel von Kontinent zu Kontinent flitzen; von der Industrie ganz zu schweigen: Überall dort, wo geschnitten, gebohrt, geschweißt, graviert oder feinstrukturiert wird, sind Laser am Werk.

Je vielfältiger ihr Einsatz desto höher werden die Anforderungen an Laser. Vor allem die gepulsten lassen noch zu wünschen übrig – insbesondere der Parameterbereich dieser gepulsten Laser kann noch beträchtlich erweitert werden. Die übliche Wiederholrate der Laser mit Impulsenergien im Joule-Bereich liegt derzeit bei nur 10 Impulsen pro Sekunde (10 Hz). „Wir brauchen Laser, die 100 bis 200 Hertz erreichen, und das bei einer hohen mittleren Impulsenergie von über einem Joule und einer Impulsdauer von wenigen Pikosekunden“, sagt Ingo Will vom Max-Born-Institut (MBI). Gemeinsam mit Kollegen vom Ferdinand-Braun-Institut (FBH) entwickelt sein Team seit einigen Jahren solche Laser. Das Projekt wird im Rahmen des *Europäischen Fonds für regionale Entwicklung* (EFRE) gefördert und steht kurz vor dem Abschluss. Entstanden ist ein optisch gepumpter Ytterbium dotierter Aluminium-Granat-Scheibenlaser. Die Scheibchen, in denen der Laserprozess stattfindet, haben einen Durchmesser von 25 mm Durchmesser und sind dabei nur 0,7 mm dick.

Was waren die größten Herausforderungen? „Zum Einen die thermischen Effekte in den Griff zu bekommen, die

durch die starke Erhitzung des Lasers entstehen“, erklärt Will. Damit sich das Scheibchen nicht verbiegt, ist es fest mit einer Diamantscheibe verbunden, die von der Rückseite gekühlt wird. Der Festkörperlaser muss mit hoher Leistung angeregt werden, damit er die gewünschten hohen Verstärkungen erreicht. Er wird dazu „optisch gepumpt“ also selbst durch einen Laserstrahl angeregt. Die Entwicklung der Pumpmodule ist Aufgabe des FBH. Götz Erbert und Wolfgang Pittroff konzipierten dafür ein spezielles Diodenlasermodul mit einer Leistung von sechs Kilowatt. „Das ist absolutes Neuland für uns, denn alle bisherigen Diodenlaser des FBH arbeiten im Bereich von maximal einigen Hundert Watt“, betont Götz Erbert.

Die Lösung: Zwei Stapel von je 28 Galliumarsenid-Laserdiodenchips werden dicht nebeneinander gesetzt und die von ihnen ausgehende Strahlung über ein Prismensystem zusammengespiegelt. Nachgeschaltete Linsen bündeln das Strahlenbündel erst horizontal, dann vertikal so weit, dass sich alle 56 Laserstrahlen parallel übereinander in die Glasfaser einfädeln – jeder Strahl mit einer Energie von 120 Watt. Die in Adlershof ansässige Firma C2GO baut die Laserdioden für den neuen Pumplaser in ein kompaktes Gehäuse ein. „Unsere Halbleiterchips haben einen Wirkungsgrad von mehr als 60 Prozent und machen das System hocheffizient. Das ist weltweit eine Spitzenleistung“, sagt Götz Erbert nicht ohne Stolz.

Für das Team von Ingo Will am MBI gab es noch eine weitere Herausforderung: „Wir mussten die Optik des Scheibenlasers so gestalten, dass er sich durch die hohen Pulsenergien nicht selbst zerschießt.“ Dazu werden die Impulse vor der Verstärkung um drei Größenordnungen gedehnt. Nach dem Verstärkungsprozess wird diese Dehnung am Ausgang des Lasers im sogenannten Kompressor wieder rückgängig gemacht. Mit diesem Verfahren werden dann Impulse von 2 ps Länge und mehr als 1 Joule Energie erzeugt. Auch die 100 Hz-Schwelle wurde inzwischen geknackt.

Deutschland ist auf dem Gebiet der Scheibenlaser weltweit führend. Sie wurden hierzulande erfunden und kontinuierlich weiter entwickelt, unter anderem am Max-Born-Institut.

Ein Halbleiterlaser, der einen Festkörperlaser pumpt, der einen weiteren Laser zu Spitzenleistungen treibt. Es war auch räumlich ein Durchbruch in neue Dimensionen: 1,5 mal 8 Meter Platz braucht die Gesamtinstallation. Im Laserlabor am MBI mussten dafür Wände weichen.

CATARINA PIETSCHMANN

Wie allgemein ist die Allgemeine Relativitätstheorie?

Egal ob Feder, Apfel oder Ziegelstein: Im Vakuum, wenn es keine Reibung mehr gibt und nur noch die Gravitation wirkt, fallen alle Körper gleich schnell. Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie, konkret das Äquivalenzprinzip, sagt dies voraus und es entspricht dem aktuellen Weltbild der Physik. Und doch gibt es Zweifel – zumindest, was die Extrema angeht. Weltraumexperimente mit Quantensensoren sollen nun Klarheit bringen.

Auf der Größenskala von Galaxien erklären die Gesetze der Gravitation nicht, warum sich das Universum so entwickelt hat, wie wir es kennen“, sagt Andreas Wicht, Leiter der Arbeitsgruppe Lasermetrologie am Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH). „Und für die mikroskopische Ebene, unterhalb von hundert Mikrometern, gibt es gar keine experimentelle Überprüfung der Gültigkeit des Gravitationsgesetzes, so wie wir es kennen.“

Die Gültigkeit des Äquivalenzprinzips auf atomarer Ebene zu überprüfen ist Ziel des Gemeinschaftsprojektes QUANTUS, an dem die Universitäten Hannover, Hamburg, Ulm, Mainz, Darmstadt, Bremen und die HU-Berlin sowie das FBH beteiligt sind. „Konkret fragen wir uns: Fallen Rubidiumatome genau so schnell wie Kaliumatome?“ Andreas Wicht entwickelt mit seinem Team am FBH die Laser-Technologieplattform für ein sogenanntes Atom-Interferometer, einen Quantensensor, der demnächst im Weltraum zum Einsatz kommen soll.

Bereits seit den späten 1980er-Jahren werden „Atom-Fall-Experimente“ im Labormaßstab durchgeführt. Doch die vermuteten Unterschiede in den Fallgeschwindigkeiten sind so minimal – sie liegen bestenfalls in der zehnten Nachkommastelle –, dass für ausreichend empfindliche Messungen sehr lange Messzeiten nötig sind. Nur im Weltraum können sie erreicht werden. Doch dafür sind die rund 2 x 2 Meter großen Messtische viel zu unhandlich. Seit Mitte der 1990er-Jahre fördert das

Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) deshalb Experimente und entsprechende Technologien. So wurden bereits Experimente am Bremer Fallturm realisiert, der mit einer Höhe von gut 100 Metern in einer Vakuumröhre vier Sekunden freien Fall ermöglicht. „Hier ließ sich zeigen, dass das Experiment prinzipiell funktioniert. Aber die Messzeit ist immer noch viel zu kurz.“

Wie funktioniert das „Fall-Experiment“? „Die Atome fungieren quasi als Sensoren“, erklärt Wicht. In Schwerelosigkeit befinden sich die Atome samt der Messeinrichtung quasi im freien Fall. Zuerst wird die thermische Bewegung der Atome der beiden Atomsorten mit Lichtimpulsen bestimmter Frequenz soweit abgebremst, dass die Atome quasi stillstehen, weil sie fast bis auf den absoluten Nullpunkt abgekühlt werden. Mit weiteren Laserpulsen werden die Atome nun so manipuliert, dass sie sich in speziellen, nur mit Mitteln der Quantenphysik beschreibbaren Zuständen befinden, weshalb sie auch als quantenoptische Sensoren bezeichnet werden. Die Wirkung der Laserpulse und damit das Messergebnis des quantenoptischen Sensors hängt aber sehr empfindlich von Frequenz und Phase der Lichtpulse ab. Würden nun die Atome dieser beiden Sorten verschieden beschleunigt, müssten Frequenz und Phase der Laserpulse für beide Sorten unterschiedlich an den Dopplereffekt angepasst werden, der aus dieser unterschiedlichen Beschleunigung resultiert. „Diesen Unterschied, falls es ihn gibt, gilt es zu messen“, erklärt Wicht. ▶



Im Bremer Fallturm lassen sich Experimente in Schwerelosigkeit realisieren – allerdings nur 4 Sekunden lang.

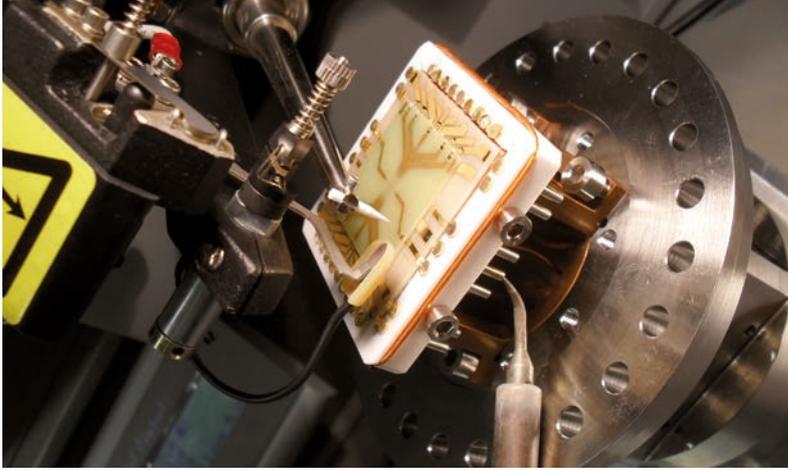


Foto: Uni Hannover

Der „Werkzeugsatz aus Licht“ ist eine Art synchronisierte Lichtorgel aus verschiedenen spektral schmalbandigen Diodenlasern, Mikrosiegeln und anderen miniaturisierten optischen Komponenten.

Am FBH wurde der „Werkzeugsatz aus Licht“ dafür entwickelt, eine Art synchronisierte Lichtorgel aus verschiedenen spektral schmalbandigen Diodenlasern, Mikrosiegeln und anderen miniaturisierten optischen Komponenten. „Wir können zwei dieser Chips auf einem keramischen Grundkörper integrieren. Um sie herum werden die Mikro-Optiken aufgebaut“, erzählt Wicht. „Das komplette Lasersystem wird aus sechs oder acht solcher Module bestehen und vom Volumen her etwa 1000-mal kleiner sein als ein herkömmliches Produkt.“ Es wird hermetisch verschlossen, lediglich der Lichtwellenleiter, der zur Versuchskammer führt, ragt heraus.

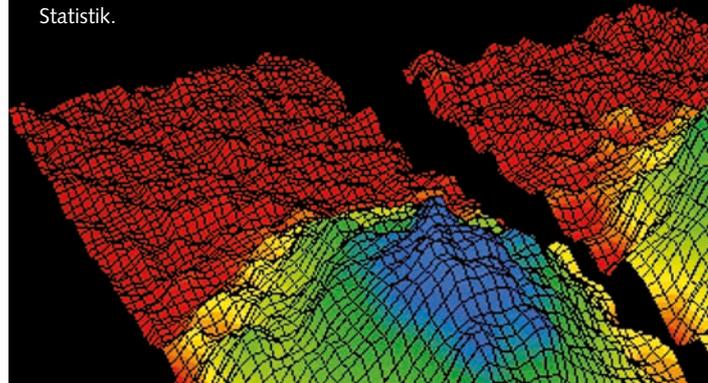
Im Bremer Fallturm hat das System bereits seine Raketentauglichkeit bewiesen. Im April 2015 sollen Experimente auf einer Höhenflugrakete, die auf etwa 100 Kilometer aufsteigt, folgen. Bis zum Wiedereintritt in die Erdatmosphäre bleibt ein Zeitfenster von sechs Minuten Schwerelosigkeit für das Experiment. Später sollen derartige Experimente auf einem Satelliten oder der Raumstation ISS durchgeführt werden.

Ein ziemlich großer Aufwand, nur um Einstein zu widerlegen, oder nicht? Andreas Wicht lacht. „Könnte man meinen. Aber als das GPS entwickelt wurde, hätte man auch nie gedacht, dass es heute in jedem Smartphone zur Verfügung steht. Und so wird, jenseits des Atom-Experiments, die Technologie der Quantensensoren vielleicht keine alltägliche, aber doch zumindest spezielle technische Anwendung finden.“ Neben Geschwindigkeits- und Beschleunigungsmessungen lassen sich damit zum Beispiel Dichtemessungen und sehr genaue Ortsbestimmungen auf der Erde durchführen.

Die britische Regierung investierte kürzlich 270 Millionen Pfund in die Kommerzialisierung von Quantensensoren. Während heute zur exakten Ortsbestimmung Zugang zu einem GPS-Satelliten nötig ist, der ausfallen könnte, navigieren Quantensensoren GPS-frei, brauchen lediglich einen bekannten Ort als Bezugspunkt. Anders als das GPS funktioniert diese auch in der Tiefe der Ozeane von U-Booten aus. „Das zweite große Einsatzgebiet wird die Exploration sein“, ergänzt Wicht. Über Erzlager „fallen“ die Atome im Sensor schneller als über normalem Gestein. Erdölager und Grundwasserspiegel können ebenfalls ausgelotet werden.

Großbritannien investiert, die USA planen Experimente auf der ISS – und was macht Deutschland? Der Programm Ausschuss Optische Technologien identifizierte zwar im Rahmen der *Agenda Photonik 2020* für das BMBF die Quantensensorik als aussichtsreiche Zukunftstechnologie. „Aber das ist Papier“, sagt Wicht. „Was wir am Ende brauchen ist Geld für weitere Forschung, eine politische Entscheidung.“ Noch stünde man relativ gut da, weil das DLR diese Arbeiten fördert. „Doch wir müssen aufpassen, dass wir unsere gute Position nicht verlieren.“

Simulation der Messungen des Experiments von 1995: Im Bose-Einstein-Kondensat wuseln die Atome nicht völlig unabhängig voneinander umher, sondern die Viel-Partikel-Wellenfunktion, die sämtliche physikalischen Eigenschaften wie Ort und Geschwindigkeit beschreibt, lässt sich zurückführen auf eine einzige Ein-Partikel-Wellenfunktion. Die einzelnen Atome des Kondensats folgen derselben Statistik.



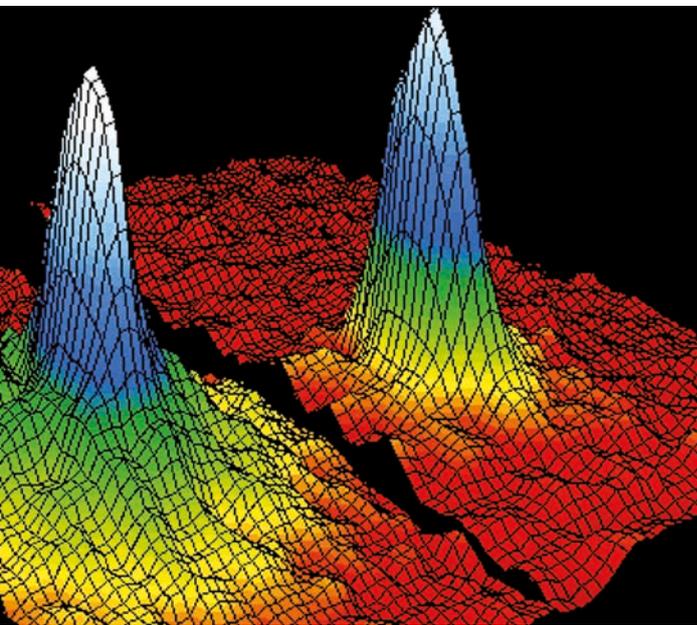
Der junge indische Physiker Satyendranath Bose (1894-1974) hatte Einstein eine neue Berechnungsstrategie für die Quantenstatistik von Photonen zugesandt. Einstein war beeindruckt von Boses Idee und entdeckte darin sogar eine neue Theorie für ununterscheidbare Partikel. Damit sagte er die Existenz des Bose-Einstein-Kondensats bei sehr geringen Temperaturen voraus. Experimentell nachweisen ließ sich das zu der Zeit nicht, denn die Theorie bezog sich nur auf den einfachsten Fall am absoluten Temperaturnullpunkt (Null Kelvin, also ca. -273 Grad Celsius) und ohne Interaktion der Partikel. Das ist eine Idealisierung, die nicht realistisch ist. Wolfgang König vom Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik (WIAS) erzählt: „Einstein hat die Theorie nie exakt ausgeführt. Mathematiker griffen die Idee immer mal wieder auf, aber es fehlten Grundlagen für eine mathematische Theorie.“

Bis es schließlich einer Gruppe von Physikern im Jahre 1995 gelang, das Bose-Einstein-Kondensat experimentell nachzuweisen. „Es war ein regelrechter Forschungskrimi, mehrere Gruppen lieferten sich einen Wettlauf. Die Physi-

GESINE WIEMER

Herr Bose brachte Herrn Einstein auf eine Idee

1924 sagte Einstein es lapidar voraus, experimentell nachgewiesen wurde es erst 1995 – wofür es 2001 prompt den Physik-Nobelpreis gab: das Bose-Einstein-Kondensat. Das ist ein extremer Aggregatzustand, bei dem die Teilchen auf merkwürdige Art miteinander in Beziehung stehen. Mathematisch wurde dieser Zustand bis heute nicht richtig beschrieben. Prof. Wolfgang König vom Weierstraß-Institut arbeitet an einem Beweis.



ker erreichten eine Temperatur von 10^{-9} Kelvin, das ist ein Milliardstel Grad vom absoluten Nullpunkt entfernt“, berichtet König. Vorher hatte eine Gruppe 10^{-6} Kelvin geschafft – das hat zwar nicht für das Bose-Einstein-Kondensat gereicht, aber schon allein für das Realisieren dieser eisigen Temperatur gab es den Nobelpreis.

Die Erzeugung des Bose-Einstein-Kondensats gab auch Mathematikern wieder einen Anstoß, sich mit dem Problem zu befassen. Komplizierter als bei Einstein ist die Mathematik dahinter vor allem dadurch, dass die Interaktionen der Teilchen untereinander nicht vernachlässigt werden können. Die experimentelle Realisierung rief sowohl Analytiker als auch Stochastiker auf den Plan.

In einer Publikation aus dem Jahr 2011 beschrieb Wolfgang König gemeinsam mit Kollegen ein System, in dem die Teilchen sich zu vielen Schlingen zusammenschließen, die durch Brown'sche Bewegungen dargestellt werden. Die Schlingen gibt es dabei nicht wirklich. Sie dienen nur der Veranschaulichung. „So stelle ich mir meine Formeln vor. Das ist das Bild, mit dessen Hilfe ich versuche, Mathematik zu machen“, sagt der Mathematiker. Wenn es keine

Bose-Einstein-Kondensation gibt, entstehen nur kleine Schlingen mit jeweils wenigen Partikeln. Diese Schlingen sind klar voneinander getrennt, es gibt ein Riesengewusel, und nur nahe beieinander liegende Partikel interagieren miteinander. Dieses System charakterisierten die Mathematiker 2011 vollständig. Allerdings beschreibt es nur die Situation bei recht hohen Temperaturen, weit entfernt von jenen, bei denen man die Existenz von Bose-Einstein-Kondensation vermutet.

Bis zu einer bestimmten Sättigungsdichte funktioniert diese Theorie. Wenn die Partikeldichte allerdings größer wird, kann das System nicht mehr alle Partikel in kurzen Schlingen halten, dann packt es einige von ihnen in lange Schlingen. So tritt ein makroskopischer Anteil der Partikel miteinander in eine langreichweitige Beziehung. „Es gibt dann nicht nur kleine Schlingen, sondern ein beträchtlicher Anteil der Partikel, vielleicht ein paar Prozent, bildet auch große Schlingen“, erklärt König. Das Bose-Einstein-Kondensat sind die Partikel in den langen Schlingen. Für deren Beschreibung fehlten bislang die mathematischen Mittel. Wolfgang Königs Ansatz basiert darauf, das Bose-Einstein-Kondensat mithilfe sogenannter Brown'scher Interlacements zu beschreiben.

Seit etwa zehn Jahren untersuchen Stochastiker die Brownian Interlacements, ein spezielles Konstrukt aus Brown'schen Bewegungen. „Wir stellen jetzt den Zusammenhang zwischen den Brownian Interlacements und den langen Schlingen her. Ich bin mir sicher, dass wir die langen Schlingen damit charakterisieren können“, betont Wolfgang König. Und er ist auch sehr optimistisch, dass die langen Schlingen das Bose-Einstein-Kondensat physikalisch korrekt beschreiben. „Hundert Prozent sicher sein können wir uns aber nicht, und das ist auch nicht mein Fach“, so König. „Aber wir haben zumindest einen wunderschönen Phasenübergang vor Augen. Vermutlich ist es der gesuchte, aber wenn nicht, haben wir immerhin eine neue mathematische Theorie entwickelt, deren Relevanz sich sicher noch erweisen wird.“ Auf diese Weise hofft Wolfgang König, die neuesten Fortschritte der Stochastik für die Beschreibung eines fundamentalen physikalischen Effekts einsetzen zu können. Drücken wir ihm die Daumen, dass er zumindest das Schlingen-Kondensat in den Griff bekommt!

KARL-HEINZ KARISCH

Mit GPS-Ortung auf der Spur der Wildtiere

Der Lebensraum für Wildtiere schrumpft. Menschliche Siedlungen, Straßenbau und Landwirtschaft erschweren es den Tieren, weite Strecken zur Suche nach Nahrung oder einem Partner zurückzulegen. Mit Hilfe von Telemetrie-Halsbändern und dem GPS-Ortungssystem verfolgen Wissenschaftler des Leibniz-Instituts für Zoo- und Wildtierforschung (IZW) seit vielen Jahren die Wanderungen etwa von Elefanten und Geparden in Afrika – oder auch von Wildschweinen in Berlin.

IZW-Direktor Heribert Hofer hat zusammen mit seinem Kollegen Prof. Thomas Hildebrandt im Jahr 2000 im Grenzgebiet zwischen Mosambik und Tansania erstmals mit Hilfe von GPS-Halsbandsendern gearbeitet. Damals wurden die Wanderungsbewegungen von Elefanten telemetriert. „Durch GPS sind viele Beobachtungen einfacher geworden“, sagt Prof. Hofer rückblickend, der zu den ersten Forschern zählt, die die Telemetrie in der Tierbeobachtung einsetzten. In den 80er-Jahren nutzte er bereits das Transit-Satellitensystem, um seinen eigenen Standort bei Tierbeobachtungen in der Serengeti genau festzustellen. „Von der GPS-Selbstortung von Tieren konnten wir damals nur träumen“, berichtet er. Durch die fortschreitende Miniaturisierung der GPS-Geräte seien heute sogar kleinere Tiere gut zu verfolgen. Beschränkt werde die Arbeit im Grunde nur noch durch die Batterieleistung.

Aber auch da schreitet die Technik voran. Die Messungen können zeitlich flexibel gesteuert werden, das spart Strom. Zudem gibt es heute verschiedene Möglichkeiten, um die GPS-Daten von noch am Tier befindlichen Halsbändern abzurufen. Das funktioniert besonders einfach über das Mobilfunk-Netz, etwa bei Seeadlern in Brandenburg, über spezielle Satelliten oder mit Kleinflugzeugen.

Dr. Bettina Wachter kommt gerade von einer dreitägigen Exkursion zurück, als sie unsere Anfrage im Camp in Namibia erreicht. Sie leitet seit zwölf Jahren das dortige Geparden-Projekt des IZW. Die Tage im Feld waren ausgesprochen erfolgreich. „Wir hatten gleich mehrere Geparde gefangen und sie dann mit GPS-Sendern versehen wieder in die Freiheit entlassen“, berichtet sie.

» Die GPS-Daten werden per Flugzeug von den Halsbändern der Geparden abgerufen.«

Derzeit tragen rund 50 Geparde ein GPS-Halsband, insgesamt wurden bereits 200 Tiere damit ausgestattet. Die Geräte speichern alle 15 Minuten die Position des Tieres. Die Datenflut wird von Doktorand Jörg Melzheimer an Bord eines kleinen Piper-Flugzeugs heruntergeladen und anschließend analysiert. „Pro Flug können etwa sechs Stunden geflogen und sechs bis sieben Tiere geortet werden“, erklärt Bettina Wachter.

Blutabnahme an einem frei lebenden Geparden auf namibischem Farmland und Anbringung eines GPS-Halsbandes am Tier.



Das Projekt hat einen ernsten Hintergrund. Die Farmer befürchten den Verlust der Kälber ihrer wertvollen Rinder durch jagende Geparde. Anhand der Isotopen-Analyse von Haar- und Gewebeprobe konnten der IZW-Forscher Dr. Christian Voigt gemeinsam mit dem Geparden-Projektteam nachweisen, dass Geparde nur selten Weidevieh fressen. Bettina Wachter bietet den Farmern eine weitere wichtige Hilfe an. Mit den GPS-Daten konnte Jörg Melzheimer zeigen, dass die Geparde sich nicht gleichmäßig auf dem Farmland bewegen: „Es gibt Gebiete, in denen es eine hohe Gepardenaktivität gibt und es gibt auch Gebiete, in denen sich die Raubtiere weniger oft aufhalten.“ Daraus hat Bettina Wachter Vorschläge für die Farmer zusammengestellt, wo sie ihre Rinderherden während der besonders gefährdeten Kalbzeit halten können – fernab der Raubkatzen.

Die Namibwüste in der afrikanischen Kunene-Region ist einer der heißesten Orte der Erde. Hier untersucht Christian Voigt die Lebensbedingungen der Oryxantilope, auch Gemsbock genannt. „Die Tiere sind bei touristischen Trophäenjägern beliebt, für die einheimische schwarze Bevölkerung stellen sie zudem eine wichtige Eiweißquelle dar“, berichtet der IZW-Forscher. Die Wildtierpopulationen würden von der lokalen Bevölkerung gemanagt, das heißt, die

Abschussquote wird vor Ort festgelegt. „Dafür ist es aber wichtig zu wissen“, sagt Voigt, „ob die Tiere nur lokal vorkommen oder ob sie über große Bereiche wandern.“ Bislang seien Zoologen bei der Oryxantilope davon ausgegangen, dass die Tiere über große Strecken in die jeweils grüneren Gebiete wandern. „Wir haben deshalb acht Tiere mit GPS-Halsbändern versehen und über drei Saisons erfasst, wo sich die Tiere aufhalten“, berichtet er. „Entgegen unserer Annahme hielten sie sich fast nur lokal auf.“ Die Tiere seien also sehr gut angepasst an die Ernährungsmöglichkeiten im Wüsten-Habitat.

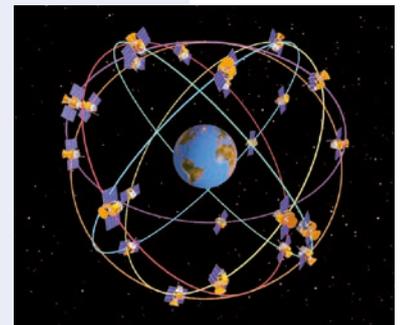
Dank Handy-Netz haben es die IZW-Forscher in Berlin etwas einfacher. Milena Stillfried beschäftigt sich in ihrer Doktorarbeit mit Wildschweinen, die sie in Kooperation mit den Berliner Forsten und dem Landesbetrieb Forst Brandenburg einfängt und mit GPS-Halsbändern ausstattet. Alle 30 Minuten wird von dem Gerät eine GPS-Ortung aufgezeichnet, die dann automatisch per E-Mail über das Mobilfunk-Netz an das IZW geht. „Wir wissen also ständig, wo sich die Tiere aufhalten, ohne dass wir sie durch Beobachtungen stören“, berichtet die Biologin. Die bislang gewonnen Erkenntnisse haben die Biologin überrascht: Es gibt Stadtliebhaber und Menschenscheue. Die Wildschweine finden auf relativ kleinem Raum alles, was sie zum Leben benötigen. Sie bewegen sich also sehr viel weniger als ihre Verwandten im ländlichen Raum. Dort gehen die Wildschweine im Wald den Menschen gezielt aus dem

Weg. „Unsere Messungen zeigen, dass sie sich im Laufe des Jahres jeweils dort aufhalten, wo der geringste Publikumsverkehr ist. Stadtschweine sind hingegen abgehärtet, die liegen in ihren Verstecken direkt neben der Straße und lassen sich durch Menschen nicht stören“, sagt Milena Stillfried. „Überall wo es bewässerte Wiesen und Grünflächen gibt, finden die Wildschweine einen reich gedeckten Tisch“, erläutert Milena Stillfried. Das führe zwangsläufig zu Konflikten, weil die Wildschweine dann Parks, Grünanlagen, Privatgärten oder Friedhöfe durchwühlten.

IZW-Forscher helfen, solche Konflikte im Zusammenleben zwischen Mensch und Wildtier zu entschärfen. Teilweise mussten dafür erst die technischen Möglichkeiten geschaffen werden. So hat beispielsweise Dr. Anne Berger gemeinsam mit Industriepartnern die GPS-Sender mit Beschleunigungssensoren kombiniert und Analysealgorithmen zur Auswertung dieser Aktivitätsdaten entwickelt. Damit sind die IZW-Forscher nun in der Lage, die Bewegungen von Tieren in drei Dimensionen aufzuschlüsseln. „Das ist das eigentlich Aufregende für uns Forscher“, sagt Heribert Hofer. „Aus solchen kombinierten Daten können wir immer genauere Rückschlüsse auf das Verhalten von Tieren ziehen.“

Im GPS-System steckt die Relativitätstheorie

Autofahrer, Flugzeuge, Schiffe oder auch die Halter von Hunden nutzen das satellitengestützte Navigations- und Ortsbestimmungssystem GPS (Global Positioning System). Den IZW-Forschern ist es dank GPS möglich, die Wanderungsbewegungen frei lebender Tiere zu verfolgen. Die Technik hinter dem GPS ist sehr aufwendig. Ohne Berücksichtigung der Effekte der Einsteinschen Relativitätstheorie würde sich die Ungenauigkeit der Ortsangabe innerhalb von 24 Stunden auf 11 Kilometer addieren. Der Grundgedanke für das GPS ist einfach. 24 Satelliten umkreisen die Erde. Aus Lichtgeschwindigkeit mal Reisezeit des Signals zwischen Sender und Empfänger errechnet sich der Abstand. Aus mehreren Signalen kann dann die genaue Position ermittelt werden. Allerdings läuft die Zeit nicht überall gleich schnell. Die Atomuhren, die an Bord von GPS-Satelliten um die Erde kreisen, laufen aufgrund der Fluggeschwindigkeit der Satelliten von rund 14.000 Kilometer pro Stunde an jedem Tag etwa sieben Mikrosekunden langsamer als die systemgleichen Uhren auf der Erde. Dazu kommt aber noch der Einfluss der Erdgravitation. Atomuhren in einer Höhe von 20.000 Kilometern sind der Gravitationskraft nur ein Viertel so stark wie Uhren auf der Erdoberfläche ausgesetzt. Dadurch laufen die Uhren in den Satelliten 45 Mikrosekunden pro Tag schneller als die auf der Erde. Insgesamt ergibt sich also ein Unterschied von 38 Mikrosekunden pro Tag. Diese winzig erscheinende Abweichung produziert jene Fehlangabe von 11 Kilometern. Durch Berücksichtigung der Zeitdilatation und der gravitativen Zeitdehnung erreicht das GPS jedoch eine Genauigkeit von ca. 30 Zentimetern.



Graphic: MSU GPS Laboratory

Foto: IZW/Bettina Wachter



ANGELINA TITTMANN

Staudämme: erneuerbare Energien sind nicht immer umweltfreundlich

Angesichts des weltweiten Booms der Wasserkraft fordern Wissenschaftler verbesserte Standards für den Bau und Betrieb von Anlagen. Noch gehörten Binnengewässer zu den artenreichsten Ökosystemen weltweit. Diese Vielfalt sei bereits heute stark gefährdet, das Artensterben werde sich weiter beschleunigen, befürchten die Forscher. Sie präsentieren jetzt erstmals eine globale Datenbank, die es erlaubt, den Umfang und die möglichen Auswirkungen der zukünftigen Dämme zu bestimmen.

Derzeit befinden sich 3700 große Staudämme, vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern, im Bau oder in Planung. Dabei ist Wasserkraft zwar eine erneuerbare, aber nicht zwingend eine klimaneutrale und umweltfreundliche Energiequelle. Große Ströme – wie der Amazonas oder der Ganges – werden zunehmend und oftmals unumkehrbar verbaut. Weltweit könnte so bald jeder fünfte der verbliebenen, freifließenden Flüsse für Fische und andere Lebewesen nicht mehr durchwanderbar sein. „Dies stellt ein ernsthafte Risiko für die einzigartige biologische Vielfalt in den betroffenen Regionen dar“, sagt Prof. Christiane Zarfl vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) und von der Universität Tübingen. Forscher fordern deshalb deutlich verbesserte Standards für die Errichtung und den Betrieb von Wasserkraftanlagen.

Mit der rasanten Nachfrage nach erneuerbaren Energien ist für die Wasserkraft eine neue Ära angebrochen. Investitionen in diesem Sektor haben sich binnen der letzten Jahre mehr als verzehnfacht. Allein der Bau dieser zukünftigen Anlagen wird geschätzte 1,5 Billionen Euro kosten. Der Boom ist vor allem in Entwicklungs- und Schwellenländern in Südamerika, Südostasien sowie Afrika zu spüren – und damit in jenen Regionen, die einen Großteil der biologischen Vielfalt unseres Planeten beherbergen. Gerade die Binnengewässer zählen zu den artenreichsten Ökosystemen weltweit. Schon heute ist diese Vielfalt stärker

gefährdet als im Meer oder an Land. Zusätzliche Staudämme werden diesen Rückgang noch weiter beschleunigen, befürchten Wissenschaftler.

In vielen Regionen werden Flüsse unwiederbringlich verbaut

Heute tragen erneuerbare Energien bereits etwa 20 Prozent zur globalen Stromproduktion bei, davon stammen allein 80 Prozent aus Wasserkraft. Diese ist allerdings nicht immer umweltfreundlich: „So unterbricht jeder Staudamm den Längsverlauf der Flüsse und verändert das Abfluss-, Sediment- und Temperaturregime. Der Sedimentrückhalt führt flussabwärts von Dämmen zur Eintiefung des Flussbetts, und aus den Stauseen, insbesondere in den Tropen, entweichen große Mengen an Treibhausgasen“, erklärt Prof. Zarfl, die zusammen mit Kollegen vom IGB und der Universität Osnabrück eine Studie dazu durchgeführt hat. „Zudem werden etwa 21 Prozent der heute noch freifließenden großen Flüsse in zehn bis zwanzig Jahren nicht mehr durchwanderbar sein.“ Dieser Effekt führe weltweit zum Verlust an Lebensräumen und Arten, so die Forscher. Besonders brisant sei die Lage in China, Brasilien, Indien und Nepal, aber auch am Balkan und in der Türkei. In der Amazonasregion, im La-Plata-Becken sowie in der Ganges-Brahmaputra-Region und im Yangtse-Becken sollen die meisten Staudämme errichtet werden.

In Europa boomt hingegen der Ausbau von Kleinkraftanlagen. „Diese tragen nur wenig zur Energiesicherung bei, „verbrauchen“ dabei aber überproportional viele natürliche Ressourcen in Form von freifließenden und durchwanderbaren Gewässerabschnitten“, sagt IGB-Direktor Prof. Klement Tockner, der die Forschung des Instituts auf dem Gebiet der Wasserkraft leitet. „Trotz EU-Wasser-Rahmenrichtlinie, in der ein Verschlechterungsverbot für Gewässer verankert ist, werden viele der selbst in Deutschland nur noch selten zu findenden freifließenden Bäche unwiederbringlich verbaut.“

Erste globale Datensammlung zu Staudämmen veröffentlicht

Die Wissenschaftler präsentierten erstmals eine globale Datenbank, die es erlaubt, den Umfang und die möglichen Auswirkungen der zukünftigen Dämme zu bestimmen. Das Besondere daran: Die Daten werden mit globalen Biodiversitätsdaten (www.freshwaterbiodiversity.eu) verknüpft, um die ökologisch kritischen Gebiete zu identifizieren. „Wir hoffen, dass unsere Ergebnisse damit für Wissenschaftler und politische Entscheidungsträger als wertvolle Grundlage bei der Erforschung und Förderung nachhaltiger Wasserkraftentwicklung dienen“, sagt Christiane Zarfl. Das Wissen, wann und wo welche Dämme gebaut werden, sei dafür unabdingbar

„Es ist unerlässlich, bei der Errichtung neuer Staudämme einen systematischen Managementansatz zu verfolgen,

der sowohl ökologische als auch soziale und wirtschaftliche Konsequenzen von allen bereits vorhandenen und geplanten Dämmen innerhalb einer Flussregion berücksichtigt“, meinen Christiane Zarfl und Klement Tockner. Die Stromgewinnung durch Wasserkraft müsse gründlich gegen die Beeinträchtigung von Wasserressourcen, biologischer Vielfalt und Ökosystemleistungen abgewogen werden. Dies beinhalte auch die Umsiedlung von Menschen, den Verlust natürlicher Ressourcen sowie eine unverhältnismäßige Verteilung von Kosten und Gewinnen.

Die Wissenschaftler fordern deshalb deutlich verbesserte Standards für die Errichtung und den Betrieb von Wasserkraftanlagen. Die sollen nicht nur helfen, die Stromerzeugung zu optimieren, sondern gleichzeitig auch deren negative Auswirkungen zu minimieren.

DOI: [10.1007/s00027-014-0377-0](https://doi.org/10.1007/s00027-014-0377-0)



Der Drei-Schluchten-Damm in China ist ein Bauwerk mit riesigen Ausmaßen: Er besteht aus einer 2309 Meter langen, 185 Meter hohen Staumauer und einem 600 Kilometer langen Stausee. Warnungen vor den ökologischen, geologischen und ökonomischen Folgen wurden bei der Planung kaum berücksichtigt.

Die biologische Vielfalt sichert unsere Ernährung

Globale Veränderungen wie Bevölkerungswachstum, Armut und der Wandel des Klimas bergen große Risiken für die Ernährungssicherheit künftiger Generationen. Nicht nur die Nahrungsmittelproduktion an sich, sondern auch der Zugang zu Nahrung für alle Menschen muss nachhaltig gesichert werden. Welchen Beitrag die biologische Vielfalt dazu leisten kann, darüber diskutierten Wissenschaftler im Oktober 2014 auf der 3. Biodiversitätskonferenz, die unter dem Thema „Biodiversität und Ernährungssicherheit – vom Austausch zu Synergien“ im französischen Aix-en-Provence stattfand.

„Die Vielfalt der Gene, Arten und Ökosysteme ist essentiell für Erträge in der Land- und Forstwirtschaft sowie in der Fischerei“, sagt IGB-Direktor Prof. Klement Tockner, der die Konferenz mit initiierte. „Ihr verdanken wir das breite Angebot an Natur- und Nutzpflanzen sowie an tierischen Erzeugnissen. Darüber hinaus liefert sie uns ein Reservoir an Genen für die landwirtschaftliche Sortenzüchtung – eine Art natürliche Versicherung gegen große Ernteverluste durch Pflanzenkrankheiten und Wetterextreme.“ Gleichzeitig bringe eine immer intensivere Landnutzung die biologische Vielfalt zunehmend in Gefahr: „Das stetige Bevölkerungswachstum, die Entwicklung neuer Technologien, der zunehmende Einsatz von gentechnisch veränderten und synthetischen Organismen wirken sich langfristig auf terrestrische und aquatische Ökosysteme aus“, erklärt Klement Tockner. Wissenschaftler fordern deshalb ein Umdenken im Management von Ökosystemen, um deren Funktionen und deren Biodiversität für künftige Generationen zu erhalten.



Um dafür Lösungsansätze zu entwickeln, kamen 110 Forscher aus den Bereichen der Natur-, Sozial-, Geistes- und Wirtschaftswissenschaften in Aix-en-Provence zusammen. Auf der 3. internationalen Biodiversitätskonferenz zu den Millennium-Entwicklungszielen der Vereinten Nationen tauschten sie sich zu den Zusammenhängen von Biodiversität und Ernährungssicherheit unter ökologischen, ökonomischen und sozialen Gesichtspunkten aus.

Die Veranstaltung ist Teil einer Konferenzserie, die der Leibniz-Forschungsverbund Biodiversität gemeinsam mit dem französischen Centre Nationale de la Recherche Scientifique (CNRS) und weiteren lokalen Partnern organisiert und unterstützt.

LAURA TYDECKS, ANGELINA TITTMANN

biodiv2014.sciencesconf.org

Die Artenvielfalt ist eine Grundlage für unsere Ernährung

GESINE WIEMER

Still und starr liegt der See

Im Winter ruht die Natur. Insbesondere in eisbedeckten Seen tut sich nichts – so die lange vorherrschende Meinung. Erst vor etwa zehn Jahren haben Forscher begonnen, etwas genauer hinzuschauen. Sie haben festgestellt, dass alles Leben im See seinen Ursprung unter dem Eis hat.

In all unseren Langzeitbeobachtungen hatten wir eine Lücke“, sagt Dr. Georgiy Kirillin vom Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB). „Alles Leben im See – vor allem das Phytoplankton – wacht schon unter dem Eis auf.“ Gerade die Eisperiode ist verbunden mit komplizierten physikalischen Prozessen. Die Eisbildung bringt das System in einen völlig neuen Zustand. So entstehen unter der Eisdecke Strömungen, die teilweise stärker sind als im offenen Wasser. An der Oberfläche wird das Wasser zwar ruhiger – unter Wasser tut sich manchmal dafür umso mehr. Wenn zum Beispiel Wind auf die Wasseroberfläche drückt, neigt sich die Oberfläche ein klein wenig. Das ist mit dem bloßen Auge kaum zu sehen, aber verteilt auf eine große Fläche steckt viel Energie darin. Wenn nun eine Eisdecke darauf liegt und das Wasser nicht mehr ausweichen kann, können beträchtliche Strömungen entstehen.

Für die Beobachtung des Klimawandels spielt die Eisbildung auf Seen eine wichtige Rolle: „Die Dauer der Eisbedeckung auf Seen ist unser wichtigster Indikator für sehr weit zurückreichende Langzeitreihen des Klimawandels“, erklärt Kirillin. Um die Eisperiode festzustellen, braucht man nämlich keine modernen Geräte, wie es schon allein für die Temperatur nötig ist – das Messinstrument ist allein das menschliche Auge. Weil es in Japan schon seit Urzeiten die Tradition gab, die Eisperiode auf Seen aufzuzeichnen, gibt es diese Daten schon seit dem neunten Jahrhundert. Zu den längsten Zeitreihen gehört auch die von Eisereignissen (Seegfrörnen) auf dem Bodensee, die seit dem Jahr 895 beobachtet werden. Die Eisbedeckung hat sich im Laufe der Jahrhunderte immer weiter verkürzt. Das zeigt, wie empfindlich die Natur gerade auch im Winter auf Klimaveränderungen reagiert.



Forschen bei eisiger Kälte und unter spektakulärem Himmel.

Entsprechend stärker sind die Auswirkungen in den nördlichen Polargebieten. Durch den Temperaturanstieg bilden sich im Permafrost immer mehr Seen. In diesen wird das Treibhausgas Methan freigesetzt, das seit Jahrmillionen im Eis gebunden war – das heizt die Klimaerwärmung noch weiter an.

Auch der größte See der Erde beschäftigt die Seenforscher – der Wostok-See. Dass kaum jemand diesen See kennt ist nicht verwunderlich: Man kann ihn nicht sehen. Er liegt in der Antarktis unter einer kilometerdicken Eisschicht. Gibt es dort unten Leben? Der See hat wegen des Eises seit Jahrtausenden oder gar Jahrmillionen keinen Kontakt zur Solarstrahlung und zur Atmosphäre mit deren Sauerstoff, die Bedingungen sind daher vergleichbar mit denen auf den Eismonden im Sonnensystem, wie Europa und Enceladus. Um Wasserproben zu entnehmen, haben Forscher durch vier Kilometer dickes Eis gebohrt – bisher aber noch keinen endgültigen Nachweis des endemischen Lebens im See gefunden. Aber dennoch: „Letzten Endes haben wir in allen Seen auch unter der Antarktischen Eiskappe Leben gefunden. Daher sind wir Forscher zuversichtlich, dass es uns auch hier gelingen wird“, sagt Kirillin. Ein weiteres Phänomen ist der ebenfalls antarktische, sehr salzhaltige Vandasee. Der 70 Meter tiefe See

hat in seinen unteren Schichten die Badewannentemperatur von 25 Grad Celsius. Die ausgeprägte Schichtung des Sees führt dazu, dass sich das Wasser der unteren Schichten nicht mit dem der oberen vermischt. Wenn nun Sonneneinstrahlung das Wasser erwärmt, bleibt die Temperatur in der Tiefe des Sees höher, auch wenn es sich oben wieder abkühlt. Über die Jahrhunderte wurde es so am Seegrund immer wärmer. In den letzten Jahren haben die Forscher beobachtet, dass im Vandasee die Süßwasserschicht unter dem Eis mehrere Meter dick geworden ist. Warum das so ist und was das physikalisch für die Dynamik des Sees bedeutet, will Kirillin schon bald in einem geplanten Projekt mit einem internationalen Forscherteam untersuchen.

Die Kälte in der Antarktis schreckt den gebürtigen Russen nicht. Das liegt aber nicht daran, dass er gerne friert, sondern er ist fasziniert: „Die Natur dort ist spektakulär. Es herrscht eine ganz eigene, ruhige Atmosphäre. Man merkt, wie zerbrechlich alles ist“, erzählt Georgiy Kirillin. Früher einmal habe er die Bilder nordischer Landschaften des amerikanischen Malers Rockwell Kent betrachtet und gedacht, so einen Himmel könne es nicht geben. Bei seinen Forschungen hoch im Norden hat er festgestellt: Solch einen Himmel gibt es ja doch!



VINCENT JUVÉ UND JANNICK WEISSHAUPT

Langwellige Lichtimpulse erzeugen ultrakurze harte Röntgenblitze

Wissenschaftler des Max-Born-Instituts und der Technischen Universität Wien haben jetzt eine neue, kompakte Laborquelle für ultrakurze, harte Röntgenimpulse mit einem bisher unerreichten Photonenfluss präsentiert. Röntgenstrahlen sind ein Schlüsselwerkzeug zum Abbilden der Struktur von Materialien und der Analyse ihrer Zusammensetzung – beim Arzt, im Chemielabor und in den Materialwissenschaften.

Strahlt man sogenannte harte Röntgenstrahlung, die eine zum Abstand zwischen Atomen vergleichbare Wellenlänge besitzt, auf ein Material, so kann man die räumliche Anordnung der Atome aus dem Muster der gestreuten Röntgenstrahlung bestimmen. Diese Standardmethode hat bislang Gleichgewichtsstrukturen von wachsender Komplexität entschlüsselt, angefangen von einfachen anorganischen Kristallen bis zu hochkomplexen Biomolekülen wie die Erbsubstanz DNS oder großen Eiweißmolekülen.

Heutzutage sind viele Wissenschaftler bestrebt, den Atomen beim „Arbeiten“ zuzuschauen, d.h., sie wollen direkt die Bewegung der Atome bei einer Schwingung, chemischen Reaktion oder auch Materialmodifikation beobachten. Atomare Bewegungen erfolgen typischerweise in einem Zeitbereich von Femtosekunden (1 Femtosekunde = 10^{-15} Sekunden). Daher benötigt man für solch einen „Röntgenfilm“ eine extrem kurze Belichtungszeit durch entsprechend kurze Röntgenblitze. Es gibt weltweit zwei komplementäre Herangehensweisen, um ultrakurze, harte Röntgenimpulse zu erzeugen;

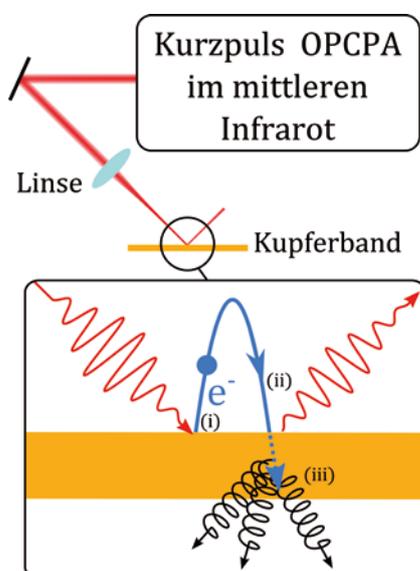
erstens Großmaschinen, wie z.B. die Freien Elektronen Laser LCLS in Stanford oder SACLA in Japan oder zweitens kompakte Laborquellen, die von Femtosekunden-Lasersystemen getrieben werden. Obwohl der Röntgenfluss aus den Freien Elektronen Lasern deutlich höher ist als in den Laborquellen, haben sich letztere als geeignete Kameras für Femtosekunden-„Röntgenfilme“ herausgestellt. Ein gemeinsames Team vom Max-Born-Institut (MBI) in Berlin und der Technischen Universität Wien hat jetzt einen Durchbruch für kompakte Laborquellen geschafft und den Fluss harter Röntgenstrahlung um einen Faktor 25 ge-

steigert. In der Fachzeitschrift *Nature Photonics* beschreiben sie eine Kombination aus einem neuartigen optischen Treiberlaser der TU Wien und einer Röntgenerzeugungskammer des MBI, welche ultrakurze Impulse harter Röntgenstrahlung mit einer bisher noch nicht erreichten Effizienz erzeugt.

Die Röntgenerzeugung erfolgt in 3 Schritten (siehe Abb.): (i) Elektronenextraktion aus dem Metallband mittels des elektrischen Feldes des Treiber-Lichtimpulses, (ii) Beschleunigung der Elektronen im Vakuum durch das starke optische Feld und Rückkehr in das Band und (iii) die Erzeugung von Röntgenblitzen durch inelastische Stöße der hochenergetischen Elektronen mit den Metallatomen im Band. Längere optische Wellenlängen entsprechen einer längeren Oszillationsperiode des Lichtfeldes und führen daher zu einer längeren Beschleunigungszeit der Elektronen im Vakuum und höheren kinetischen Energie. Dadurch kann die Effizienz der Röntgenerzeugung erheblich gesteigert werden, was in den Experimenten ausgenutzt wurde.

Die Experimente wurden an der TU Wien durchgeführt, wo die Forscher ein neues Treiber-Lasersystem, das auf dem Konzept der „Optical Parametric Chirped Pulse Amplification“ (OPCPA) beruht, verwendeten. Dessen Lichtimpulse von 80 fs Dauer und einer Energie bis zu 18 mJ bei einer Zentralwellenlänge von 3900 nm ($3,9 \mu\text{m}$) wurden auf ein $20 \mu\text{m}$ dickes Kupferband in einer Vakuumkammer fokussiert. Damit konnten bisher noch nicht erreichte Röntgenflüsse von einer Milliarde harter Röntgenphotonen bei einer Wellenlänge von $0,154 \text{ nm}$ pro Laserschuss erreicht werden. Gegenüber früheren Experimenten mit einer Treiberwellenlänge von 800 nm zeigt sich eine Überhöhung um den Faktor 25. Diese bahnbrechenden Ergebnisse weisen den Weg für neue, kompakte Laborquellen, mit denen man bis zu 10^{10} Röntgenphotonen pro Laserschuss bei einer Wiederholrate von 1000 Hz erzeugen wird.

Nature Photonics 8, 927–930 (2014); DOI: [10.1038/nphoton.2014.256](https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.256)



GESINE WIEMER

FVB-Nachwuchs-Preis: Der Weg des Kohlenstoffs



Der Nachwuchswissenschaftlerinnen-Preis des Forschungsverbundes ging 2014 an die Biologin Dr. Kristin Scharnweber. Die junge Forscherin hat am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) promoviert, derzeit arbeitet sie als Postdoc in Uppsala (Schweden). Am 5. November wurde der Preis feierlich in der Leibniz-Geschäftsstelle in der Chausseestraße überreicht.

Kristin Scharnweber hat in ihrer Dissertation die ufernahen Zonen in kleinen Flachseen und deren Kopplung mit angrenzenden terrestrischen Bereichen untersucht.

Insbesondere den herbstlichen Laubfall hat sie dabei unter die Lupe genommen. Sie konnte zeigen, wie dadurch Kohlenstoff vom Land ins Wasser und dort in die Nahrungskette gelangt. Aber das ist keine Einbahnstraße, der Kohlenstoff wird auch zum Teil wieder zurück ans Land transportiert. Insekten wie zum Beispiel Zuckmücken verbringen ihr Larvenstadium im Wasser, verwerten den dort vorhandenen Kohlenstoff und fliegen nach dem Schlüpfen an Land, wo sie selbst wiederum als Nahrung, beispielsweise für Spinnen, dienen.



KARL-HEINZ KARISCH

PDI initiiert Berlins neues Festival für Wissenschaft und Kunst

Sind Aliens in Berlin gelandet? Ein Wesen mit silbernem Beulenkopf tapst vorsichtig vor der Alten Münze gegenüber dem Roten Rathaus herum. Zwei junge Frauen helfen ihm, nicht die Kontrolle zu verlieren. Der EYEsect-Helm zeigt dem Benutzer durch zwei frei schwenkbare Kameras die Welt aus völlig neuen Perspektiven. Die tragbare Installation des Künstlerkollektivs „The Constitute“ war eines der Highlights beim STATE Experience Science Festival. Ungewöhnlich genug: Das neue Kreativformat aus Kunst und Wissenschaft wurde vom Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik (PDI) initiiert. Es führte zu einer Ausgründung, der STATE Experience Science GmbH.

Für Gründer und Organisator Dr. Christian Rauch ein Riesenerfolg. Denn zum ersten Festival kamen in die Hallen der ehemaligen Münzprägefabrik im Zentrum Berlins bereits mehr als 1000 Besucher. „Dass es geklappt hat, die Öffentlichkeit für solche schwierigen Themen zu be-

geistern, das ist richtig klasse“, freut sich der Physiker. Jede gute Idee hat üblicherweise eine Vorgeschichte. So auch diese. Während seiner Jahre als Wissenschaftler habe er es immer bedauert, dass er seine künstlerische Seite nie so richtig ausleben konnte.

„Dabei haben Wissenschaft und Kunst einen starken Überschneidungsbereich, beide streben nach Antworten auf unsere großen Fragen“, ist er überzeugt.

Seit gut zwei Jahren ist Rauch am PDI im Wissenschaftstransfer beschäftigt. Nicht nur mit der Eröffnung der Science Fassade im Jahr 2012 machte das Institut in diesem Bereich vermehrt von sich Reden. Die Idee für das Festival nahm hier konkrete Gestalt an. „Wir sind auf der Suche nach neuen Formen des Transfers aus der Grundlagenforschung in die Gesellschaft“, berichtet er. „Es geht mir darum, Wissenschaft für die Öffentlichkeit neu erlebbar zu machen.“

Sein erstes „Baby“ waren die Science Slams in Helsinki, die er ab 2010 in der finnischen Hauptstadt etablierte. Finnland war ihm auf Dauer ein wenig zu dunkel, so zog es ihn zurück nach Berlin – ans Paul-Drude-Institut. Im vergangenen Jahr brachte der kulturbegeisterte Physiker Rauch zusammen mit anderen Organisatoren den Science Hack Day nach Berlin. Damals und auch in diesem Jahr experimentierten dort junge Forscher und Kreative ein Wochenende lang an der Entwicklung ausgefallener Geräte. Damit war für Rauch eine kritische



Eine völlig neue Sicht auf die Welt zeigt der EYEsect-Helm.

Masse erreicht. „Ich wollte eine Plattform für diese und ähnliche innovative Initiativen für Wissenschaftskommunikation schaffen. Insbesondere in der Zusammenarbeit mit Künstlern tun sich da gerade spannende Möglichkeiten auf“, sagt er. Um diese zu nutzen, habe er ein Konzept aufgestellt, das zum Startpunkt für das STATE Experience Science Festival wurde.

Höhepunkte hatte das Festival mit dem Oberthema „Zeit“ wahrlich viele, etwa den Vortrag des britischen Physikers Julian Barbour, der Zeit für eine glatte Illusion hält. Das und andere Vorträge waren kein leicht verdaulicher Stoff, trotzdem war es oft so voll, dass die Leute keinen Platz mehr im Saal fanden und bis draußen standen. Mehrere hundert Leute beteiligten sich an interaktiven Experimenten. Daneben gab es wissenschaftlich inspirierte Kunstfilme und Live-Performances mit Musik, Tanz und Visuals.

Mit der im Zuge des Festivals gegründeten Firma, der STATE Experience Science GmbH, wollen Rauch und sein Team verstärkt im Bereich der interdisziplinären Wissenschaftskommunikation aktiv werden. Die zarte Liaison zwischen Kunst und Wissenschaft hat also Zukunft.



Wissenschaft und Kunst streben nach Antworten auf unsere großen Fragen.«



Kosmisch inspiriert: Beim STATE Festival wurden Kunstfilme und Live-Performances gezeigt, dazu gab es Musik, Tanz und Visuals.

Gemeinsam stärker: Wissenschaft und Naturschutz

Wie können Wissenschaftler und Naturschützer besser zusammenarbeiten? Dieser Frage widmete sich der „Dialog am Stechlinsee“ (24. bis 26. Oktober 2014). Mit der Überführung der Veranstaltungsreihe „Stechlin-Forum“ in die „Dialoge“ erweiterte das IGB diese erfolgreiche Reihe, die bereits am Müggelsee und am Arendsee zum Austausch zwischen Wissenschaft, Öffentlichkeit und Politik beitrug. Am Stechlinsee zielte der Dialog darauf ab, Akteure aus Wissenschaft und Naturschutz an einen Tisch zu bringen. Der Ort war passgenau gewählt: Der Stechlinsee ist seit über 55 Jahren Wissenschaftsstandort, an dem die Abteilung Experimentelle Limnologie seit 2012 das IGB-Seelabor betreibt, und zugleich Zentrum des Naturparks Stechlin-Ruppiner Heide.

Ökosysteme wie der Stechlin stehen heute massiv unter Druck, unter anderem wegen des Klimawandels. Um diesen ging es im Vortrag von Manfred Stock vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung am Eröffnungsabend der Veranstaltung. Der Klimaforscher betonte, dass die Erwärmung des Planeten in den letzten Jahren nur scheinbar eine Pause gemacht hat – zwar stagnierte die Lufttemperatur, aber die Ozeane nahmen Energie in verstärktem Maß auf.

IGB-Direktor Klement Tockner nahm in seinem Einführungsvortrag des Workshops am Folgetag diesen Faden auf, als er eine umfassende Perspektive für regionales Handeln annahmte. „Der Erhalt von Arten, dem auch wir Wissenschaftler aus ethischen Gründen verpflichtet sind,

reicht nicht aus, um die Funktionen eines Ökosystems zu sichern“, sagte Tockner. Stattdessen müssten konservierende mit Management-Ansätzen kombiniert werden. Die weiteren Vorträge und Diskussionen des Tages zeigten: Man stimmt überein, dass Naturschutz und Forschung sich stärker verbünden müssen, um den Folgen des Klimawandels zu begegnen.

Gleich zur Tat schritten Mark Gessner, Leiter der IGB-Abteilung am Stechlinsee, und Mario Schrupf, Leiter des Naturparks Stechlin-Ruppiner Heide, die zum Abschluss des Workshops eine Kooperationsvereinbarung unterzeichneten. Beide Partner wollen sich bei ökologischen Projekten gegenseitig unterstützen, Kommunen und Behörden gemeinsam beraten und verstärkt Informationen austauschen. Gemeinsame Veranstaltungen wie der „Kleine Naturschutztag“ oder der nächste „Dialog“ sind als Kooperationsprojekte bereits fest eingeplant.

WIEBKE PETERS



Naturschutz hautnah erleben konnten die Teilnehmer bei einer geführten Exkursion in das Gramzow-Seengebiet nahe Fürstenberg/Havel, das im EU-Life Projekt „Kalkmoore“ integriert ist.

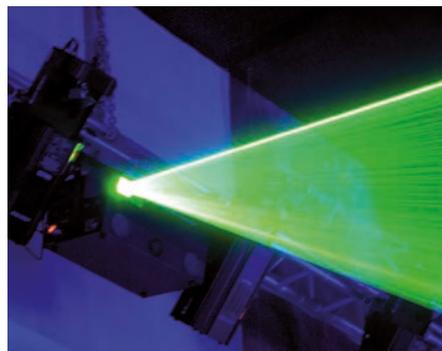
FBH/MBI

LichtBlicke – Schreibwettbewerb zum Thema Licht

Aus Anlass des Internationalen Jahrs des Lichts der UNESCO hat das FBH gemeinsam mit Partnern einen Schreibwettbewerb zum Thema Licht für Jugendliche ausgerufen. In Form von Gedichten, Kurzgeschichten oder Songtexten können die Schülerinnen und Schüler ihre Gedanken zum Thema Licht aufschreiben. Dabei können die Akzente ganz unterschiedlich gesetzt werden: Was verbinden die Jugendlichen mit dem Thema Licht? Wie machen Licht und Lichttechnologien ihr Leben nicht nur heller und farbiger, sondern auch lustiger, einfacher oder komplizierter? Sparen wir dank LED Energie oder erhöhen wir damit die „Lichtverschmutzung“? Die interessantesten Texte werden vertont und im Oktober 2015 beim großen Abschlusskonzert in Berlin präsentiert.

Einsendeschluss ist der 28. Februar.

Infos unter www.wetek.de.



Unser Alltag ist ohne moderne Lichttechnologien kaum denkbar – das internationale Jahr des Lichts reflektiert das Thema aus verschiedenen Blickwinkeln.

Urania: Chips und Atome – Vorträge zum Internationalen Jahr des Lichts

Prof. Dr. Günther Tränkle, Direktor des Ferdinand-Braun-Instituts, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik (FBH), hält am 28. Januar um 19.30 Uhr in der Urania einen Vortrag über „Chips, Laser & Co. – Winzige Alleskönner für Medizin, Kommunikation und Weltraum“. Viele für spezielle Anwendungen entwickelte Bauteile verbinden sich zu neuen technologischen Systemen mit vielen, heute noch kaum vorstellbaren Anwendungen.

Prof. Dr. Thomas Elsässer, Direktor des Max-Born-Instituts für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI), spricht am Freitag, 30. Januar, um 19.30 Uhr über den „Blick auf die Bewegung der Atome“ mit Hilfe von ultrakurzen Röntgenimpulsen. Die Experimente geben detaillierten Einblick in Atombewegungen während einer chemischen Reaktion und gestatten eine Bestimmung der Verteilung von Elektronen.

FMP & PDI

Bestnoten für FMP und PDI



Das Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik am Gendarmenmarkt

Das Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik (PDI) und das Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie (FMP) sind wissenschaftlich evaluiert worden. Beide Institute erhielten hervorragende Bewertungen.

Der Senat der Leibniz-Gemeinschaft attestiert dem PDI international bestens wettbewerbsfähige Forschungsleistungen auf dem Gebiet der Untersuchung und Herstellung niedrig-dimensionaler Strukturen in Halbleitern. Ein Alleinstellungsmerkmal des Instituts sei dabei vor allem seine jahrelange Erfahrung auf dem Gebiet der Molekularstrahlepitaxie, ein Verfahren zur Herstellung feinsten kristalliner Schichtstrukturen im Nanobereich. Die damit hergestellten neuartigen Materialproben seien in der internationalen Forschungsgemeinschaft höchst anerkannt. Gleichzeitig diene die Materialexpertise den Forschungsgruppen im Haus als wesentliche Grundlage ihrer wissenschaftlichen Arbeit. Auch die Arbeiten zur Spintronik, zu akustischen Oberflächenwellen, Nanodrähten und Quantenkaskadenlasern seien sehr gut.

Das FMP widmet sich erfolgreich der Grundlagenforschung mit dem Ziel, neue bioaktive Moleküle zu identifizieren und ihre Wechselwirkungen mit biologischen Zielstrukturen zu charakterisieren und zu manipulieren. Laut Senat der Leibniz-Gemeinschaft habe das Institut seit der letzten Evaluierung sein bemerkenswert hohes Leistungsniveau gehalten und sich dynamisch weiterentwickelt. Mit modernsten Methoden würden biologisch und medizinisch relevante Fragestellungen bearbeitet. Die interdisziplinäre Herangehensweise verleihe dem Institut ein einzigartiges Profil. Die Forschungsergebnisse seien überwiegend sehr gut bis exzellent. Das FMP sei ausgezeichnet in die Berliner Forschungslandschaft integriert, so der Senat. Mit der Koordination des EU-OPENSCREEN-Netzwerks habe das FMP zudem eine bedeutende Aufgabe für die europäische Wissenschaft übernommen.



Das Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie in Berlin-Buch

Aus der Leibniz-Gemeinschaft

Neuer Leibniz-Forschungsverbund zu Infektionskrankheiten

Der Senat der Leibniz-Gemeinschaft hat für Leibniz-Forschungsverbünde und Leibniz-WissenschaftsCampi ergänzende Mittel aus der Förderlinie „Strategische Vernetzung“ in Höhe von mehr als 10,5 Mio. Euro bewilligt. Damit fördert die Leibniz-Gemeinschaft ab 2015 neben dem bestehenden Verbund zur „Historischen Authentizität“ über vier Jahre den neuen Leibniz-Forschungsverbund zu Infektionskrankheiten im 21. Jahrhundert unter der Federführung des Forschungszentrums Borstel – Leibniz-Zentrum für Medizin und Biowissenschaften mit Beteiligung aus dem Forschungsverbund Berlin durch das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) und dem Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung (IZW).

Preise, Preise, Preise

Der Jenaer Wirkstoff-Fahnder Prof. Dr. Christian Hertweck vom Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie – Hans-Knöll-Institut (HKI) wird für seine bahnbrechenden Erkenntnisse und seine Forschungen mit dem wichtigsten deutschen Forschungsförderpreis für das Jahr 2015 ausgezeichnet, dem **Leibniz-Preis der DFG**.

Auf ihrer Jahrestagung im November 2014 in Berlin hat die Leibniz-Gemeinschaft ihren jährlichen **Nachwuchspreis** verliehen. Sie ehrte die herausragenden Doktorarbeiten des Psychologen Hauke Sören Meyerhoff aus Tübingen, des Biotechnologen Tom Bretschneider aus Jena und des Ingenieurs Mehmet Kaynak aus Frankfurt (Oder).

Auf dem sechsten Leibniz-Ausbildungstag hat die Leibniz-Gemeinschaft den **Leibniz-Auszubildenden-Preis** 2014 an den Mechatroniker Niklas Kroh vom Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik (IHP) verliehen. Seine Forschungen zu mikrostrukturierten Elektroden für Brennstoffzellen veröffentlichte das Team in der Fachzeitschrift „Junge Wissenschaft“. Außerdem ging daraus ein Patent hervor, das Niklas Kroh mit seinen Teamkollegen und seinem Ausbilder anmeldete.



Leibniz-Nachwuchspreis 2014: Mehmet Kaynak, Hauke Sören Meyerhoff, Tom Bretschneider (von links).

Personen

IGB

Friedrich Wilhelm Bessel-Forschungspreis für Biologin



Dr. Emily Bernhardt ist mit dem Friedrich Wilhelm Bessel-Forschungspreis der Humboldt-Stiftung ausgezeichnet

worden. Bernhardt, die derzeit als Fellow am Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB) forscht, wird damit für ihre herausragenden Forschungsleistungen geehrt. Die studierte Biologin promovierte 2001 an der Cornell University (USA). Nach Forschungsaufenthalten in Chile und Venezuela zog es sie 2004 an die Duke University (USA), wo sie eine Außerordentliche Professur für Biogeochemie annahm. Mit ihrer Arbeitsgruppe untersucht sie dort, wie sich der globale Wandel sowie intensive Landnutzung auf Flüsse, Feucht- und Wassereinzugsgebiete auswirken. Der Preis, der jährlich an bis zu 25 international anerkannte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vergeben wird, ist mit 45.000 Euro dotiert.

MBI

Neue Emmy Noether Nachwuchsgruppe

Seit Oktober 2014 befindet sich in Bereich C die neue Emmy Noether Nachwuchsgruppe im Aufbau. Dem Nachwuchsgruppenleiter **Dr. Benjamin Fingerhut** gelang es, bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) eine Start-Förderung innerhalb des Emmy Noether-Programms einzuwerben. Das Emmy Noether-Programm möchte Nachwuchswissenschaftlern einen Weg zur frühen wissenschaftlichen Selbständigkeit eröffnen. Die Förderdauer beträgt fünf Jahre und umfasst die zur Durchführung



Benjamin P. Fingerhut, Sandra Mierschink, Martin Richter (v.l.)

des Projekts erforderlichen Personal-, Sach- und sonstigen Mittel. Die wissenschaftliche Zielsetzung des Emmy Noether Projektes umfasst die Entwicklung neuer Simulationsalgorithmen für moderne zeitaufgelöste Methoden der Schwingungs- und Optischen Spektroskopie. Beide Techniken nutzen unterschiedliche Beobachtungsfenster um eine Echtzeit-Beobachtung von ultraschneller Reaktionsdynamik zu ermöglichen. Die entwickelten Simulationsprotokolle sollen letztendlich dazu beitragen komplexe biomolekulare Dynamik zu untersuchen und ein mikroskopisches Bild von fundamentalen Reaktionsmechanismen zu entwickeln.

FBH

Abteilung Optoelektronik ausgezeichnet



Dr. Götz Erbert nahm am 18. November 2014 stellvertretend für die Abteilung Optoelektronik des FBH den diesjährigen Preis des Laserverbunds Berlin-Brandenburg entgegen. Die Abteilung wurde für ihre wegweisenden Forschungen zu

Diodenlasern sowie für ihre langjährigen erfolgreichen Kooperationen mit Unternehmen in der Region geehrt. Der Erfolg beruhe auf Teamwork betont Götz Erbert: „Das FBH arbeitet in komplexen vernetzten Prozessen. Ohne die enge Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen aus den anderen Fachabteilungen wären die vielen Ergebnisse bis hin zu einsatzfähigen Systemen nicht möglich.“

Im Laserverbund Berlin-Brandenburg haben sich Laserfachleute aus Wirtschaft und Wissenschaft zusammengeschlossen, um die Zusammenarbeit von Unternehmen und Forschungseinrichtungen in der Laserforschung, -entwicklung und -anwendung zu fördern.

PDI

Zwei Humboldt-Stipendiaten



Prof. Gabriel Soares ist Mitarbeiter der Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Brasilien) und Stipendiat der

Alexander von Humboldt Stiftung. Von August 2014 bis August 2015 forscht er als Gastwissenschaftler am PDI zu dem Thema „Controlled synthesis of doped graphene on dielectrics by molecular beam epitaxy“.

Dr. Steven Erwin ist Mitarbeiter des Center for Computational Materials Science, Naval Research Laboratory (USA).



Er ist von September 2014 bis April 2015 Gast am PDI und widmet sich hier der Forschungsaufgabe „Theoretically modeling the growth of epitaxial crystalline semiconductors by combining Density Functional Theory (DFT) with Kinetic Monte Carlo (KMC)“.

Zum Titelbild: Weltrekord im All: Leistungsfähige Pump Laser-Module des Ferdinand-Braun-Instituts ermöglichen die schnelle Laser-Datenkommunikation zwischen erdnahen und geostationären Satelliten. Im Bild Sentinel 1A, der in 700 Kilometern Höhe kreist.

Impressum

verbundjournal wird herausgegeben vom Forschungsverbund Berlin e. V. Rudower Chaussee 17 · D-12489 Berlin Tel.: (030) 6392-3330 Fax: (030) 6392-3333

Vorstandssprecher: Prof. Dr. Henning Riechert Geschäftsführerin: Dr. Manuela B. Urban (V.i.S.d.P.) Redaktion: Gesine Wiemer, Karl-Heinz Karisch Titelbild: ESA/NIST, JILA, CU-Boulder/Oren Turner, LoC/MPI für biophysikalische Chemie Layout: unicom Werbeagentur GmbH

Druck: AZ Druck und Datentechnik GmbH

„Verbundjournal“ erscheint vierteljährlich und ist kostenlos. Nachdruck mit Quellenangabe gestattet. Belegexemplar erbeten. Redaktionsschluss dieser Ausgabe: 6. Januar 2015



Ferdinand-Braun-Institut, Leibniz-Institut für Höchstfrequenztechnik · Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei · Leibniz-Institut für Kristallzüchtung · Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie · Leibniz-Institut für Zoo- und Wildtierforschung · Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie · Paul-Drude-Institut für Festkörperelektronik, Leibniz-Institut im Forschungsverbund Berlin e.V. · Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und Stochastik, Leibniz-Institut im Forschungsverbund Berlin e.V.



Auf der Wissenschaftskonferenz „Falling Walls“ über künftige Durchbrüche in Forschung und Gesellschaft am 8. und 9. November 2014 in Berlin waren die Institute des Forschungsverbundes Berlin e.V. mit drei jungen Wissenschaftlern vertreten.

Eröffnet wurden die „Falling Walls“ von dem Wiener Quantenphysiker **Anton Zeilinger**. Mit ihm diskutierte anschließend im Forum die Physikerin **Dr. Olga Smirnova** (oben links) vom Max-Born-Institut für Nichtlineare Optik und Kurzzeitspektroskopie (MBI). Zeilinger, dem es bereits gelungen ist, Quanteninformationen über rund 150 Kilometer zu übertragen, möchte Ende des Jahres solche Informationen von der Erde zu einem Satelliten übertragen. Er zeigte sich optimistisch, dass es irgendwann einen Quantencomputer geben werde. Die Mathematik der Quantenphysik funktioniere. „Das große Geheimnis liegt in der Verschränkung von Teilchen“, sagte er. „Warum macht die Natur das?“



Dr. Jabadurai Jayapaul und Nicole Nischan vom Leibniz-Institut für Molekulare Pharmakologie (FMP) sprachen im Rahmen des Falling Walls Labs über ihre Forschungsergebnisse. Ein schonendes und zugleich extrem empfindliches Nachweisverfahren von Lungenkrebs im Frühstadium stellte Jayapaul vor. Dazu wird ein Reporter-Molekül, das im Kernspintomographen gut sichtbar wird, mit einem Antikörper an die Krebszellen geheftet.



Nicole Nischan präsentierte eine positiv geladene Peptid-Scheibe, mit deren Hilfe medizinisch wirksame Proteine in großer Menge in die Zelle transportiert werden können. Ohne diesen Super-Transporter werden die Proteine vom Körper rasch zerlegt und unwirksam.