

femto

Das DESY-Forschungsmagazin – Ausgabe 01|14

Big Bird

Das energiereichste Neutrino,
das jemals gemessen wurde

Stärker als Stahl

Neue Technik produziert
extrastarke Zellulosefasern

SCHWERPUNKT

Infektionen im Röntgenblick

Die Strukturbioogie eröffnet neue Wege für
die Entwicklung von Medikamenten

Tetraquarks

Forscher spüren
Teilchen-Viererbanden
auf



Liebe Leserin, lieber Leser,

Sie halten die erste Ausgabe von *femto* in der Hand, dem neuen DESY-Forschungsmagazin, das Sie künftig viermal im Jahr über die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse aus dem Forschungszentrum informiert.

femto lädt Sie ein zu einer Entdeckungsreise in die faszinierende Welt der DESY-Forschung, die uns zum Ursprung unseres Universums und in die verborgenen Dimensionen der Quantenwelt führen wird, von der wir mit brillanten Schnappschüssen und Live-Aufnahmen von der Bewegung der Atome und Moleküle in neuen Materialien und in der belebten Natur zurückkommen werden. *femto* wird Ihnen aber auch aktuelle Einblicke in die neuesten DESY-Technologien geben, wie unsere supraleitenden Beschleuniger, die Elektronen so sparsam wie möglich auf höchste Energien bringen, oder unsere hochmodernen Detektoren und neuartigen Laser.

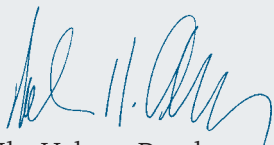
Mit *femto* werden Sie auch über die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten unserer Partner auf den Forschungscampi in Hamburg und Zeuthen und unserer ca. 3000 Gastwissenschaftler auf dem Laufenden gehalten, die einen wesentlichen Anteil daran haben, dass DESY heute ein multidisziplinäres, multikulturelles und internationales Mekka der Forschung ist.

Unsere erste *femto*-Reise entführt Sie in die wenig einladende Welt der Krankheitserreger. Mit dem Schwerpunktthema „Infektionskrankheiten“ zeigt *femto*, wie Biologen, Mediziner und Physiker gemeinsam neue Wege suchen, um Bakterien und Viren die Stirn zu bieten. Welche Rolle bei dieser globalen Herausforderung die DESY-Großgeräte spielen? Sie erfahren es hier.

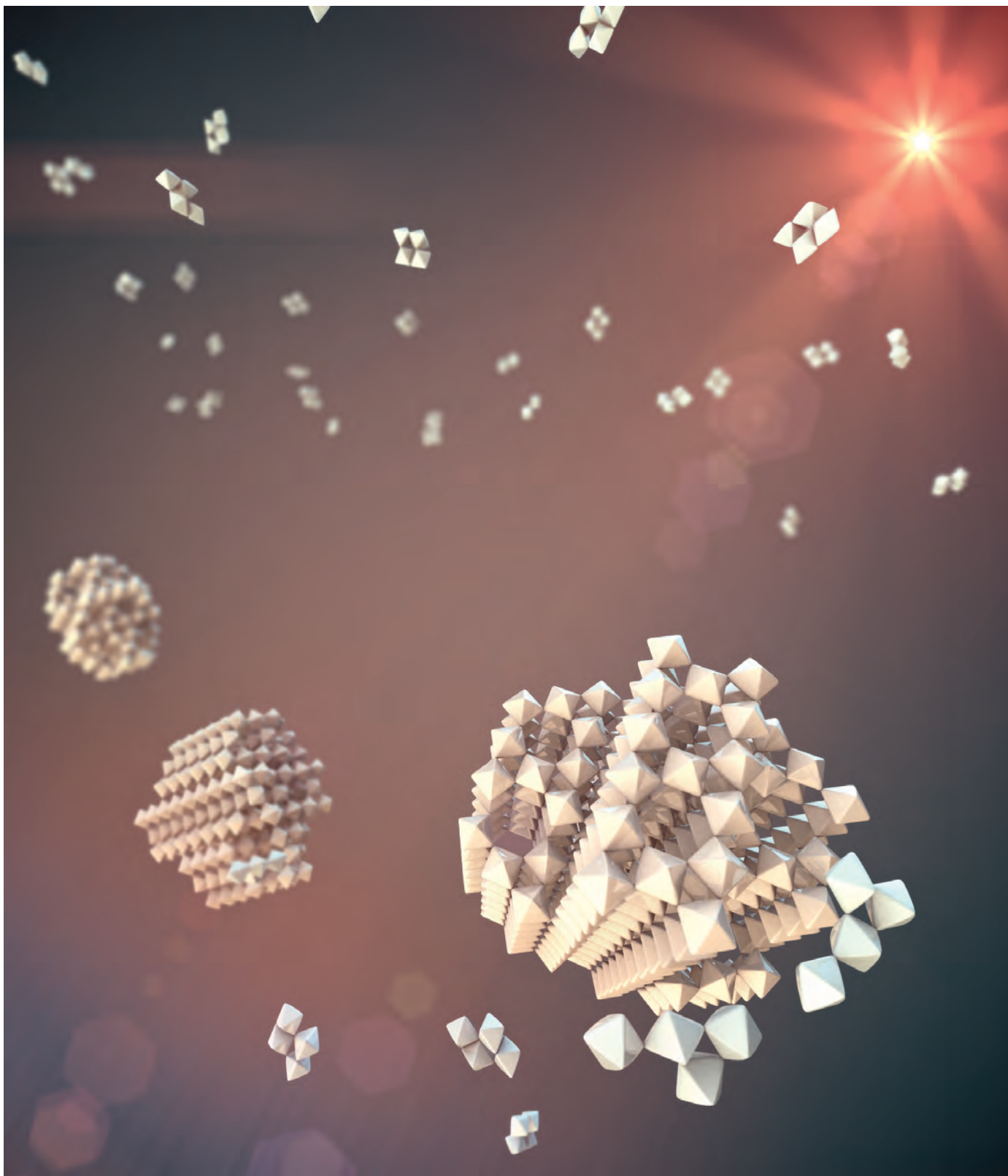
Femto ist die gebräuchliche Vorsilbe für das Billiardstel einer Maßeinheit, beispielsweise eines Meters oder einer Sekunde, und für DESY ein Symbol für den Vorstoß in die Welt des Allerkleinsten und des Unbekannten. Sie hat unserem neuen Forschungsmagazin den Namen gegeben, als Vorsilbe für künftige wissenschaftlichen Entdeckungen und Innovationen aus dem Hause DESY.

Wenn Ihnen *femto* also gefällt, abonnieren Sie es kostenlos! Hinweise dazu finden Sie hinten im Heft.

Viel Spaß und Spannung beim ersten Durchblättern und Lesen wünscht Ihnen



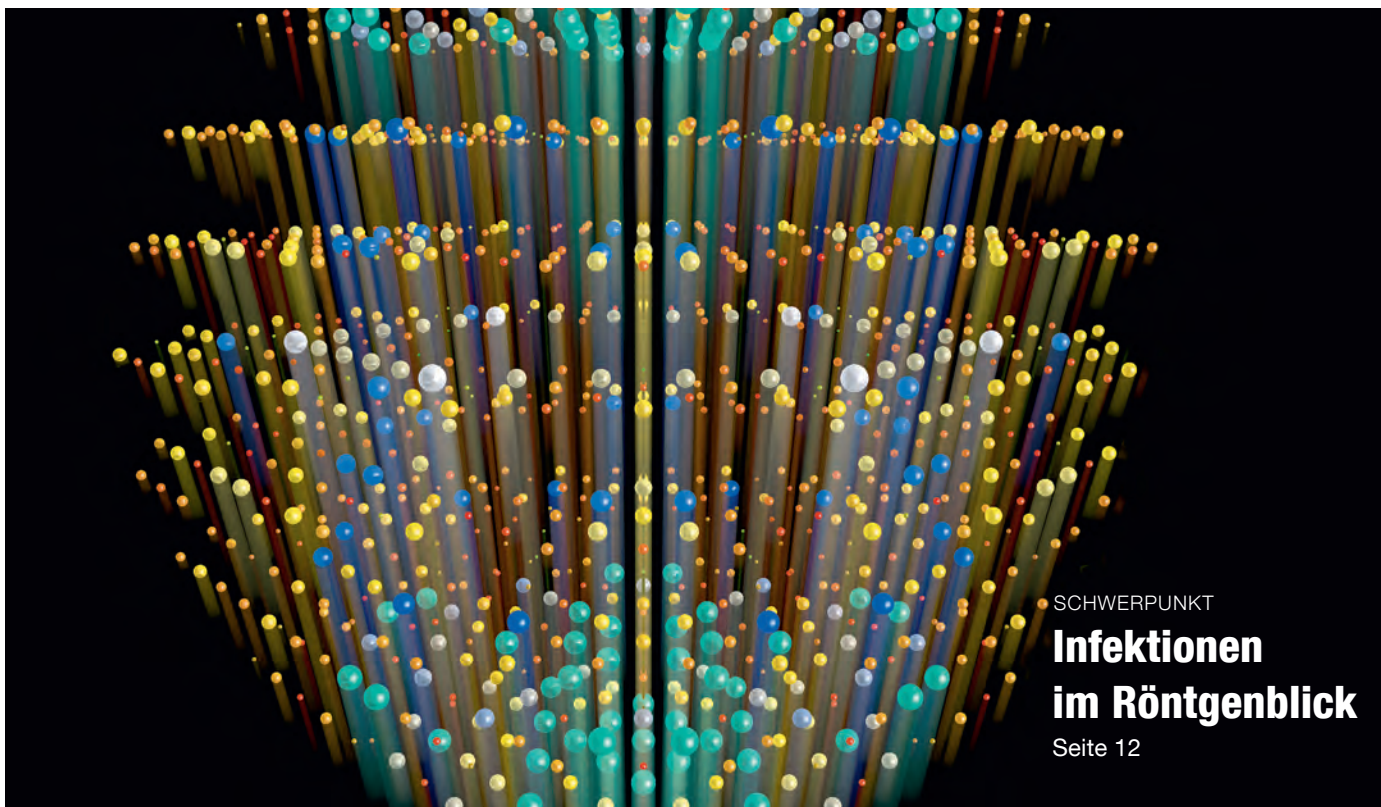
Ihr Helmut Dosch
Vorsitzender des DESY-Direktoriums



Zehn hoch

Wie zehn Nanometer hohe Türmchen aus Wolfram-Trioxid in einer Lösung heranwachsen, konnten dänische Forscher erstmals live an DESYs Röntgenlichtquelle PETRA III verfolgen. Solche Nanopartikel werden beispielsweise für intelligente Fenster benutzt, die auf Knopfdruck undurchsichtig werden, und kommen auch in

bestimmten Solarzellen zum Einsatz. Die Röntgenmessungen zeigen nicht nur die Nanostrukturen im atomaren Detail, sondern auch die Dynamik des Wachstumsprozesses. Je nach Herstellungsbedingungen verbinden sich die Wolframoxid-Partikel zu ungeordneten oder geordneten Strukturen. Solche Erkenntnisse lassen sich nun nutzen, um Nanomaterialien mit bestimmten Eigenschaften zu versehen und sie für neue Technologien maßzuschneidern. Bild: Lucid / DESY



SCHWERPUNKT

Infektionen im Röntgenblick

Seite 12

Inhalt

femto – das DESY Forschungsmagazin Ausgabe 01|14

SCHWERPUNKT

Infektionen im Röntgenblick

Infektionskrankheiten gehören zu den großen Herausforderungen unserer Zeit. Unsere Waffen gegen gefährliche Keime drohen stumpf zu werden. Das zeigen Bakterienstämme, die bereits gegen alle gängigen Antibiotika resistent sind. Aussichtsreiche neue Ansätze bietet die Strukturbiologie: Mit Hilfe von intensivem Röntgenlicht lassen sich die Funktionsweise von Biomolekülen entschlüsseln und Ansatzpunkte für maßgeschneiderte Medikamente finden.

- 12 **Infektionen im Röntgenblick**
Die Strukturbiologie eröffnet neue Wege für die Entwicklung von Medikamenten
- 22 **„Google Maps für den Menschen“**
Interview mit Matthias Wilmanns vom Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie
- 25 **Es begann mit einem Muskel**
Vor 50 Jahren starteten bei DESY die Messungen mit einem ganz besonderen Licht
- 26  **2014: das internationale Jahr der Kristallographie**
Die Vereinten Nationen (UN) feiern eine Technik, die Materie atomgenau analysiert



Geheimnisvolle Gasriesen
Seite 32



Extrastarke Zellulosefasern
Seite 6

6 Stärker als Stahl

Neue Technik produziert extrastarke Zellulosefasern

8 Big Bird

Das energiereichste Neutrino, das jemals gemessen wurde

10 PETRA testet Lippenstifte

Das Projekt „Science Link“ bringt auch Kosmetika ins Röntgenlicht

32 Geheimnisvolle Gasriesen

Röntgenlaser FLASH späht tief ins Innere von Gasplaneten

36 Tetraquarks

Forscher spüren Teilchen-Viererbanden auf

38 Detektor-Neuland

DESYs ältester Beschleuniger hat großes Zukunftspotenzial

40 Welches Teilchen passt zu Ihnen?

Im „Teilchenzoo“ werden aus elementaren Teilchen echte Persönlichkeiten

RUBRIKEN

3 femtoskop Nanoteilchen für intelligente Fenster und Solarzellen

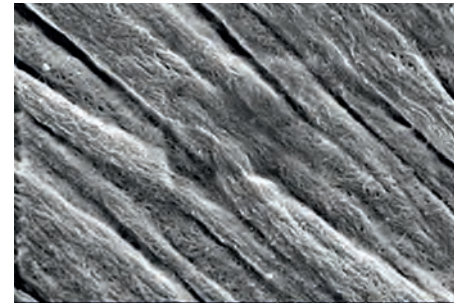
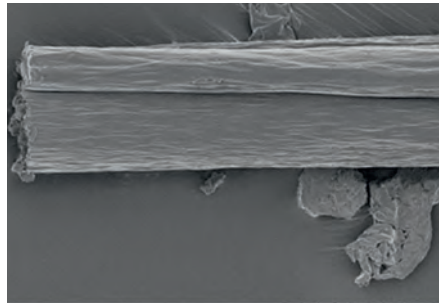
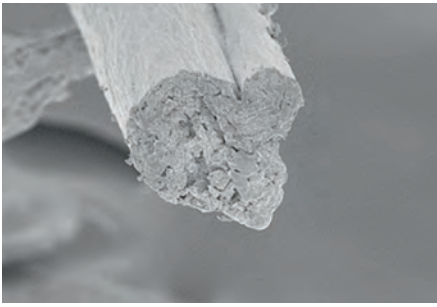
24 femtopolis Kein Hightech ohne Alufolie

31 femtomenal Warum man beim Laufen zunimmt

42 femtocartoon Muss man um Elektronen trauern? Fragt sich Johannes Kretzschmar

28 SPEKTRUM

Start-up-Preis für Laserprojekt ... Forscher röntgen lebende Krebszellen ... Messgerät für Röntgenlaserblitze ... Standort für Gammateleskop CTA ... Neues vom Higgs-Teilchen ... Bessere Katalysatoren ... Supraleitung bei Raumtemperatur



Extrastark: Künstlich hergestellte Zellulosefaser unter dem Rasterelektronenmikroskop. Bild: Fredrik Lundell / KTH Stockholm

Stärker als Stahl

Forscher spinnen ultrafeste Zellulosefäden

Werden wir in Zukunft in Häusern wohnen, die ein überdimensionaler 3D-Drucker aus neuartigen Zellulosefasern ausdrückt? Fasern, die aus Altpapier stammen, aber ultrafest und durch und durch nachhaltig sind? Eine kühne Zukunftsvision, aber die Ansätze, die ein neues Verfahren zur Produktion extrem starker Zellulosefäden bietet, sind vielversprechend.

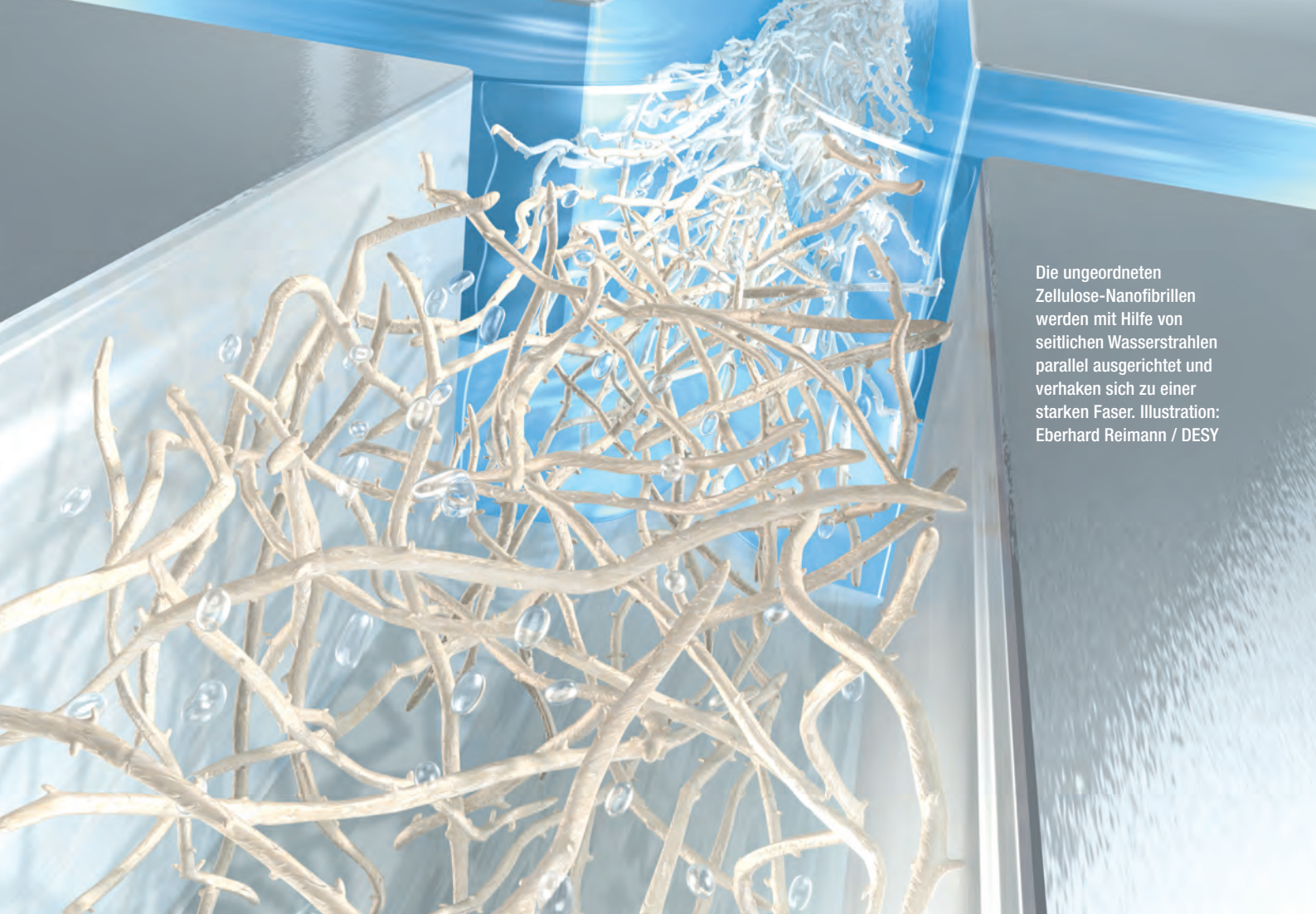


DESY-Forscher Stephan Roth an der Experimentierstation P03. Bild: Heiner Müller-Elsner / DESY

Ein schwedisch-deutsches Forscherteam hat bei DESY erfolgreich eine innovative Methode getestet, um ultrafestes Garn aus nanometerkleinen Zellulosefasern zu flechten. Zellulose ist der Hauptbestandteil der pflanzlichen Zellwand und formt dort winzigen Fädchen, die sogenannten Fibrillen. Mit dem neuen Verfahren werden diese alle parallel

ausgerichtet und erhalten so ihre besondere Stärke. „Gemessen am Gewicht sind unsere Fäden stärker als Stahl und Aluminium“, erläutert der Hauptautor der Studie, Fredrik Lundell vom Wallenberg-Holzwissenschaftszentrum an der Königlichen Technischen Hochschule KTH in Stockholm. „Die echte Herausforderung ist allerdings, daraus Biomaterialien mit hoher Steifigkeit zu machen, die beispielsweise für Rotorblätter von Windkraftträdern benutzt werden könnten. Mit weiteren Verbesserungen, insbesondere bei der Ausrichtung der Fibrillen, wird dies möglich werden.“

Für ihr Verfahren spülen die Forscher die winzigen, nanometerkleinen Zellulose-Fibrillen mit Wasser durch einen schmalen Kanal. Zwei zusätzliche Wasserstrahlen, die von beiden Seiten in den Kanal münden, beschleunigen den Fluss der



Die ungeordneten Zellulose-Nanofibrillen werden mit Hilfe von seitlichen Wasserstrahlen parallel ausgerichtet und verhaken sich zu einer starken Faser. Illustration: Eberhard Reimann / DESY

Fibrillen. „Durch die Beschleunigung mit diesen Jets richten sich alle Nanofibrillen mehr oder weniger parallel zur Flussrichtung aus“, erläutert Stephan Roth, Leiter der Experimentierstation Po₃ an DESYs Röntgenlichtquelle PETRA III, an der die Versuche stattfanden. „Außerdem spülen die Jets Salze in den Fluss. Diese Salze sorgen dafür, dass die Fibrillen sich aneinanderheften, und legen damit bereits die Struktur des künftigen Fadens fest.“ Anschließend werden die noch feuchten Fasern an der Luft getrocknet, wodurch sie zu einem kräftigen Faden zusammenschrumpfen. „Das Trocknen dauert nur ein paar Minuten an der Luft“, erklärt Daniel Söderberg von der KTH. „Das fertige Material ist vollständig biokompatibel, da die natürliche Struktur der Zellulose in den Fibrillen erhalten bleibt. Es ist daher biologisch abbaubar und sogar verträglich mit menschlichem

Gewebe.“ Das helle Röntgenlicht von PETRA III erlaubte den Forschern, den Produktionsprozess im Detail zu verfolgen und die Konfiguration der Nanofibrillen an verschiedenen Stellen im Fluss zu überprüfen. „Forschung wird heutzutage von interdisziplinärer Zusammenarbeit angetrieben“, betont Söderberg. „Ohne die große Kompetenz und die Möglichkeiten, die das Team von DESYs Messstation Po₃ in das Projekt eingebracht hat, wäre dies nicht gelungen.“

Wie die Forscher berichten, ist ihr Garn stärker als alle anderen bisher präsentierten künstlichen Fäden aus Zellulose-Nanofibrillen. Sie können sogar mit den stärksten natürlichen Zellstoffäden mithalten, die man bisher aus Holz extrahiert hat, und besitzen eine gleich hohe Parallelausrichtung der

Nanofibrillen. „Wir können im Prinzip sehr lange Fäden flechten“, betont Lundell. „Bis jetzt sind unsere längsten Probestücke ungefähr zehn Zentimeter lang, aber das ist mehr eine technische Frage und kein grundsätzliches Problem.“ Die im Experiment eingesetzten Nanofibrillen stammten aus frischem Holz. „Im Prinzip sollte es auch möglich sein, Fibrillen zum Beispiel aus Altpapier zu extrahieren“, sagt Lundell. „Das Potenzial von Recyclingmaterial für diese Technik muss allerdings erst genauer untersucht werden.“

Originalarbeit: Hydrodynamic alignment and assembly of nano-fibrils resulting in strong cellulose filaments; Nature Communications, 2014; DOI: 10.1038/ncomms5018

Big Bird

Der größte Teilchendetektor der Welt registriert am Südpol
das energiereichste kosmische Neutrino, das jemals gemessen wurde

Neutrinos sind die Geister unter den Elementarteilchen.

Sie wiegen fast nichts und fliegen nahezu ungestört
durch alles hindurch, was ihnen begegnet.

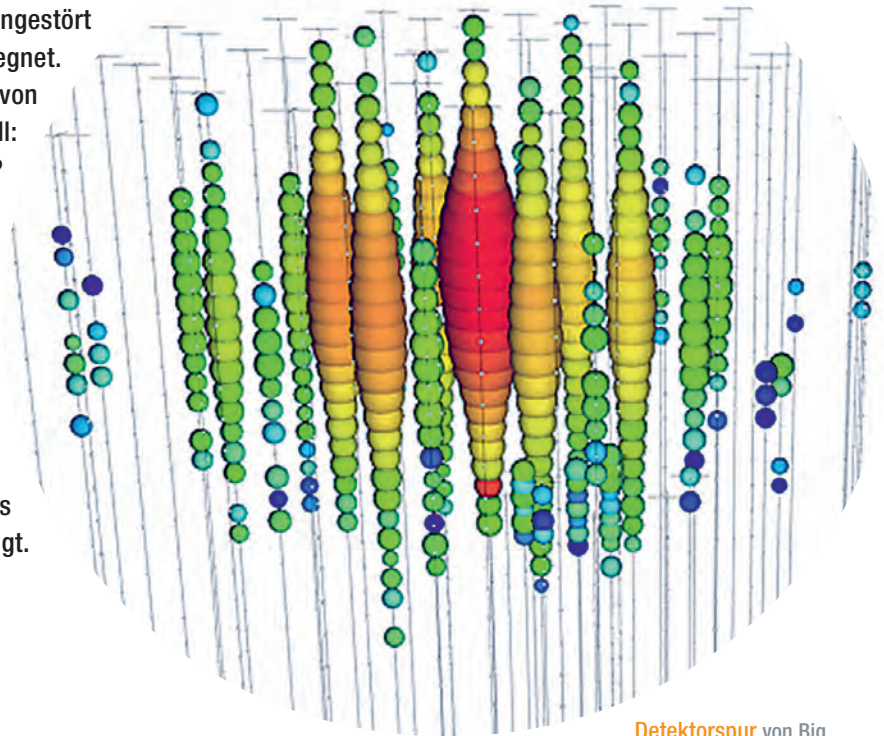
Das macht sie zu einzigartigen Boten von
spektakulären Geschehnissen im Weltall:

Was passiert in der Nähe eines schwarzen Lochs?

Wie explodiert eine Supernova?

Und woher kommen jene unvorstellbar
energiereichen Teilchen, die als kosmische
Strahlung auf die Erde prasseln?

Neutrinos lassen sich weder von Materie
noch von Magnetfeldern ablenken
und können deshalb Informationen
aus Regionen des Kosmos liefern,
von denen kaum ein anderes
Signal zur Erde vordringt.



Detektorspur von Big Bird, dem energiereichsten Neutrino, das jemals gemessen wurde. Die kugelförmigen Nachweisgeräte, die wie Perlenschnüre in das antarktische Eis eingelassen sind, messen Lichtsignale, die von den Neutrinos erzeugt werden. Bild: IceCube Collaboration

Allerdings verfängt sich aus demselben Grund auch in den irdischen Messgeräten kaum ein Neutrino. Um die Geisterteilchen aus den Tiefen des Kosmos überhaupt nachweisen zu können, haben die Forscher am Südpol den größten Teilchendetektor der Welt gebaut: IceCube. In einen ganzen Kubikkilometer antarktisches Eis sind 86 Stahltrossen eingeschmolzen, an denen insgesamt 5160 empfindliche Nachweisgeräte hängen, sogenannte optische Module, die nach jenen schwachen Lichtblitzen spähen, die eine der seltenen Neutrinokollisionen erzeugt.

Den Erfolg ihrer Suche nach den kosmischen Botenteilchen haben die rund 260 internationalen Experten der IceCube Collaboration augenzwinkernd in die Sesamstraße verlegt: 2013 verkündeten sie die Entdeckung von Ernie und Bert – zwei extraterrestrischen Neutrinos mit ungewöhnlich hohen Energien von mehr als 1000 Tera-Elektronenvolt. Damit ragen die beiden deutlich aus jenen unzähligen, weit weniger energiereichen Neutrinos heraus, die permanent in der Erdatmosphäre entstehen. Entsprechend euphorisch wurde dieser erste



Kosmische Superbeschleuniger: Schwarze Löcher und sogenannte aktive Galaxienkerne gehören zu den vermuteten Quellen sehr energiereicher kosmischer Teilchen.
Bild: NASA / Goddard Space Flight Center / CI Lab

Hinweis auf hochenergetische Neutrinos aus Regionen jenseits unseres Sonnensystems gefeiert. Untermauert wurde der Fund durch eine weitere gründliche Analyse der IceCube-Daten, die zusätzlich 26 Ereignisse mit Energien oberhalb von 30 Tera-Elektronenvolt zutage förderte. Und dann kam Bibo, im Amerikanischen Big Bird: Im April 2014 stellten IceCube-Forscher auf einer Fachkonferenz in den USA das energiereichste Neutrino vor, das jemals gemessen wurde. Big Bird, der große gelbe Vogel aus der Sesamstraße, hat etwa die doppelte Energie seiner Neutrino-Kollegen Ernie und Bert. Zum Vergleich: Das Neutrino aus den Weiten des Weltalls hat noch 500-mal mehr Energie als die fast lichtschnellen Protonen, die der weltstärkste Teilchenbeschleuniger LHC bei Genf aufeinanderprallen lässt, um so spektakuläre neue Teilchen wie das Higgs zu entdecken. Doch nicht die

Jagd nach solchen Rekorden treibt die Forscher an. IceCube ist gerade dabei, ein neues Beobachtungsfenster zum Kosmos zu öffnen. „Wir erleben gerade die Geburtsstunde der Neutrinoastronomie“, betont Markus Ackermann, Leiter der Neutrinoastronomiegruppe bei DESY. Eine räumliche oder zeitliche Häufung der bislang gefundenen Ereignisse, die auf eine bestimmte kosmische Quelle hindeuten würde, konnten die IceCube-Forscher nicht feststellen, dazu ist die Anzahl noch zu klein. „Wir arbeiten jetzt intensiv daran, die Signifikanz unserer Beobachtung zu erhöhen und zu verstehen, was dieses Signal bedeutet und woher es kommt“, erläutert die Sprecherin des internationalen IceCube-Projekts, Olga Botner von der Universität Uppsala (Schweden). Mit steigenden Nachweiszahlen hoffen die Wissenschaftler, einzelne Quellen der energiereichen Neutrinos im Kosmos identifizieren zu können.



Wer hat Ernies Eiswürfel geklaut?

Was IceCube mit der Sesamstraße zu tun hat

Auch Wissenschaftler in weltumspannenden Großprojekten brauchen mal Abstand von harten Zahlen und Fakten, mit denen sie tagtäglich arbeiten. So hat ein Doktorand von IceCube die beiden ersten hochenergetischen Neutrinos „Ernie“ und „Bert“ getauft und den abstrakten Ereignissen damit eine geradezu greifbare Existenz verliehen. Um Eiswürfel („ice cubes“) dreht sich auch tatsächlich eine Episode der beliebten Sesamstraße.



Illustration: Anja Stiehler – Jutta Fricke Illustrators / DESY

PETRA testet Lippenstifte

Kussfest bei jedem Wetter



Lippenstifte gehören meistens nicht zur Standardausstattung eines Physikers. Bei DESY rückten sie aber dennoch in den Fokus des Forscherinteresses. Dabei ging es nicht um die neuesten Farbtrends, sondern um die Beschaffenheit des beliebten Kosmetik-Utensils: In einer Industriekooperation studierten DESY-Fachleute mit gebündelten Röntgenstrahlen, wie sich Lippenstifte verhalten, wenn man sie aus frostiger Kälte in tropische Hitze verfrachtet.

Ausgangspunkt für das ungewöhnliche Vorhaben war „Science Link“, ein von DESY gemanagtes EU-Projekt. Science Link richtet sich an Industriefirmen aus dem Ostseeraum. Es soll ihnen ein Wissenschaftswerkzeug nahebringen, das ansonsten vor allem von Grundlagenforschern genutzt wird: Beschleuniger, die extrem starkes und gebündeltes Röntgenlicht erzeugen. Diese Synchrotronstrahlung ist ungleich intensiver als das Röntgenlicht in einer Arztpraxis und eignet sich bestens zum präzisen Durchleuchten unterschiedlichster Materialien.

Über Physiker der Universität Riga kamen die Science-Link-Macher mit SIA Dzintars in Kontakt, einem der führenden Kosmetik-Produzenten Lettlands. Bei ihren Lippenstiften hatte die Firma ein seltsames Phänomen bemerkt: Auf manchen Exemplaren hatte sich im Laufe der Zeit ein dünner Ölfilm gebildet. Veränderte sich die Schminke womöglich je nach Temperatur? Um dem Rätsel auf die Spur zu kommen, stellten die Physiker die kleinen Schönheitshelfer, die eigentlich ihren Platz in Damenhandtaschen und Kosmetikbeutel haben, auf den Prüfstand von PETRA III, einer der besten



Graham Appleby an der Messstation P02, an der die Versuche stattfanden.
Bild: Lars Berg / DESY

Röntgenlichtquellen der Welt. „Die Firma kannte die Möglichkeiten der Synchrotronstrahlung gar nicht“, sagt Graham Appleby, der als Forscher für Science Link beim Projektträger DESY arbeitet. „Wir mussten sie zunächst beraten, was sich damit alles anfangen lässt.“ Beleuchtet man eine Materialprobe mit dem intensiven Röntgenlicht, sind in den Messdaten oft feinste Details zu erkennen – etwa Lage und Art der Moleküle und Atome, aus denen sich der Stoff aufbaut. Der Lippenstift sollte bei wechselnden Temperaturen unter die Röntgenlupe genommen werden.



Im Winter kann seine Trägerin aus klirrend kalten Minusgraden in einen gut geheizten Raum kommen und erwartet trotzdem, dass die Schminke unverändert auf den Lippen haftet. Um herauszufinden, ob sich bei starkem Temperaturwechsel die Materialeigenschaften verändern, nutzten die Forscher bei ihren Experimenten an PETRA III einen heiz- und kühlbaren Probenhalter. Sechs Lippenstifte unterschiedlicher Farben wurden zunächst bei Raumtemperatur vermessen. Dann kühlten sie die Wissenschaftler auf minus 50 Grad ab und erwärmten sie anschließend in 5-Grad-Schritten bis auf plus 50 Grad. Bei jedem Schritt machten sie eine Messung. Das Ergebnis: Es kommt zu Phasenumwandlungen in den Stiften, wenn sich das Paraffin, der Grundstoff der Lippenstifte, beim Abkühlen zusammenzieht und bei steigender Temperatur wieder ausdehnt.

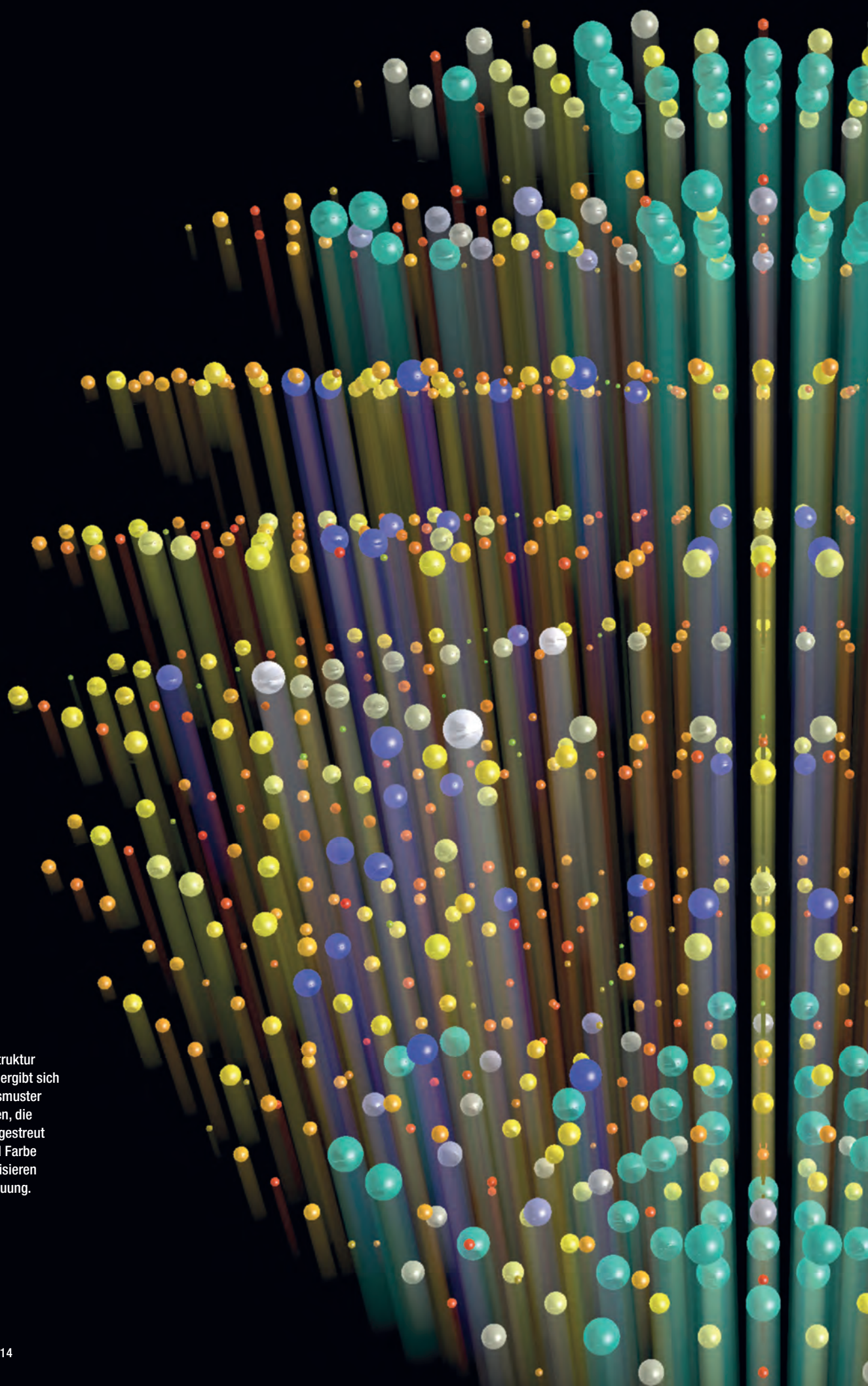
Als sie die Kosmetika abschließend erneut bei Raumtemperatur untersuchten, kamen die Experten zu einem beruhigenden Resultat: Das Material nahm seine ursprüngliche Form an, der Lippenstift war wieder der alte. Nur bei einer Probe, die Appleby bis auf 90 Grad erhitzt hatte, veränderte sich die Materialstruktur so stark, dass der Lippenstift nicht mehr zu gebrauchen war. Für Dzintars eine gute Nachricht – die Temperaturbeständigkeit ihrer Lippenstifte ist selbst in dem extremen Temperaturbereich von minus 50 Grad bis plus 50 Grad nun wissenschaftlich untermauert. Zum genauen molekularen Verständnis des Ölfilms und seiner

Eigenschaften müssen noch weitere Untersuchungen mit dem Röntgenlicht von PETRA III gemacht werden. Bei der Untersuchung seiner Lippenstifte profitierte der Kosmetikhersteller von der langjährigen Erfahrung, die Wissenschaftler mit der Analyse von Materialeigenschaften im intensiven Röntgenlicht bereits gesammelt haben. Mit derselben Technik wie die Kosmetika werden sonst neue Hightech-Werkstoffe durchleuchtet – etwa hitzebeständige Keramiken, die energiesparendere Flugzeugtriebwerke ermöglichen sollen, korrosionsbeständige Stähle für Schiffspropeller oder Kunststoffmembranen zur Abscheidung von Kohlendioxid.

Die Lippenstift-Studie war nur eine der Studien von Science Link. Seit 2012 hatten 49 Unternehmen aus dem Ostseeraum die Gelegenheit ergriffen, ihre Proben mit dem Röntgenstrahl aus einem Speicherring zu untersuchen – und zwar kostenlos. In diesem Rahmen wurden etwa die ideale Beschaffenheit von Farbstoffen erkundet, der Energieverbrauch bei einer bestimmten Düngerherstellung optimiert und neue Katalysatoren für sauberere chemische Prozesse untersucht. Einige der Experimente liefen bei PETRA III in Hamburg, andere bei Anlagen in Berlin und Schweden. „Dass so viele Firmen das Angebot nutzten, hat uns positiv überrascht“, freut sich Appleby.



Part-financed by the European Union
(European Regional Development Fund)



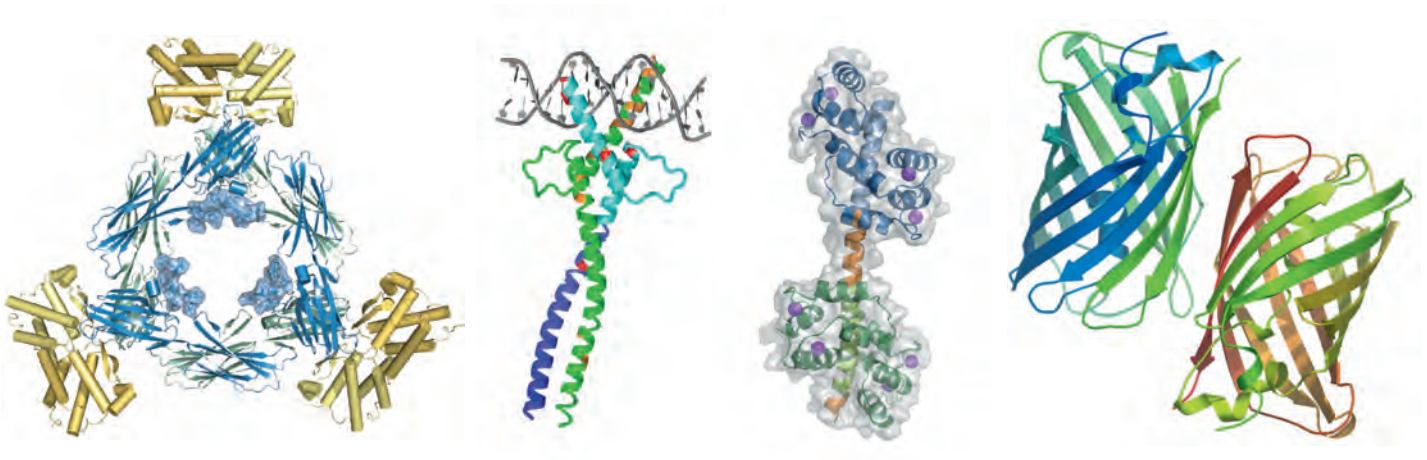
Die atomgenaue Struktur eines Biomoleküls ergibt sich aus dem Beugungsmuster der Röntgenstrahlen, die im Molekülkristall gestreut werden. Größe und Farbe der Kugeln symbolisieren die Stärke der Streuung.

SCHWERPUNKT

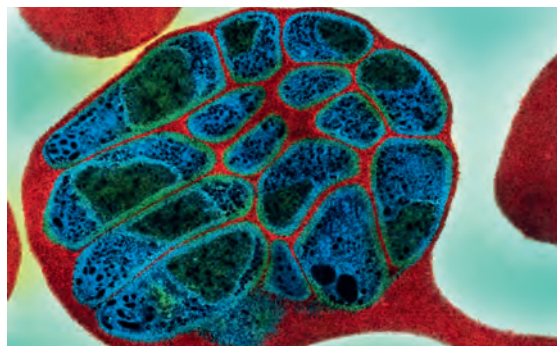
Infektionen im Röntgenblick

Die Strukturbiologie eröffnet neue Wege für die Entwicklung von Medikamenten

Sie zählen zu den großen Plagen der Welt – die Infektionskrankheiten. Aids, Tuberkulose und Malaria sind weltweit für Millionen Todesfälle verantwortlich, neu auftretende Viren bedrohen den internationalen Austausch, antibiotikaresistente Bakterien schüren die Angst vor Krankenhausaufenthalten. Aus diesen Gründen wird es immer wichtiger, Infektionskrankheiten wirksam zu bekämpfen. Helfen können physikalische Methoden wie die Strukturanalyse mit Röntgenstrahlung: Forscher können damit Viren, Bakterien und Parasiten auf molekularer Ebene durchleuchten, um ihre Angriffsmechanismen zu enträtseln und maßgeschneiderte Medikamente dagegen zu entwerfen.



Malaria ist ein heimtückischer Killer: Der Erreger verschanzte sich in den roten Blutkörperchen und vermehrt sich dort, bis diese Zellen platzen und den Körper mit neuen Parasiten überschwemmen. Alle 45 Sekunden stirbt auf der Welt ein Mensch an Malaria, und bedrohlicherweise haben sich in Asien erste Resistenzen gegen eines der wichtigsten Malariamittel gezeigt, Artemisinin.



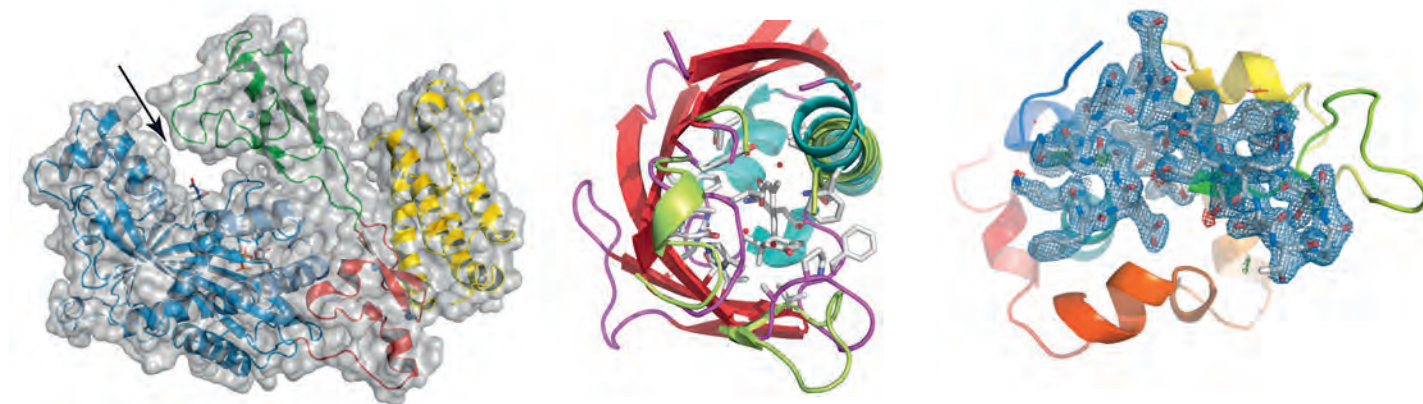
Der Malariaerregers *Plasmodium* (blau) befallt die roten Blutkörperchen (rot) des Menschen. Bild: Moredun Scientific LTD / Science Photo Library

Höchste Zeit, die molekularen Vorgänge einer Malariaattacke besser zu verstehen, um Angriffspunkte für neue Medikamente auszukundschaften. Genau dies ist der Ansatz einer vergleichsweise jungen Disziplin der Lebenswissenschaften, der Strukturbiologie. Mit ihrer Hilfe erkunden Forscher die atomgenaue Struktur von Proteinen, Enzymen und Hormonen und können daraus die exakten Eigenschaften und Funktionen dieser Biomoleküle bestimmen.

„Wie enterte beispielsweise der Malariaerregers die roten Blutkörperchen?“, erläutert der Biochemiker Chris Meier von der Universität Hamburg eine typische Fragestellung. „Das ist ein extrem komplexer Vorgang, an dem nicht nur ein einzelnes, sondern eine Vielzahl von Proteinen beteiligt sind, und der alles andere als geklärt ist.“ Meier ist maßgeblich beteiligt am Aufbau eines neuen Zentrums für Strukturbiologie (Centre for Structural Systems Biology, CSSB) auf dem DESY-Campus, das von neun Institutionen getragen wird und sich die Erforschung von Infektionen auf der molekularen Ebene auf die Fahnen geschrieben hat.

Wollen Biologen solche grundlegenden Prozesse aufklären, bedienen sie sich oft physikalischer Methoden. Das wichtigste Werkzeug der Strukturbiologie ist derzeit die Synchrotronstrahlung, die in Teilchenbeschleunigern erzeugt wird. In diesem intensiven Röntgenlicht wird die atomare Struktur verschiedenster Materialien sichtbar, eben auch die von biologischen Makromolekülen.

Doch einfach ist das nicht: Um ein ausreichend starkes Messsignal zu bekommen, müssen die Strukturbiologen ihre Proben zunächst kristallisieren. Der Proteinkristall beugt das Röntgenlicht auf charakteristische Weise, wobei sich die Reflexe von gleichen Gitterpunkten



Proteinstrukturen: Sie muten wie kleine Kunstwerke an, aber Wissenschaftler erkennen in diesen Bildern die exakte räumliche Struktur und Funktion von Biomolekülen. Hochleistungscomputer und eine spezielle Analysesoftware berechnen solche Molekülstrukturen aus den komplexen Beugungsmustern, die Proteinkristalle im Röntgenlicht erzeugen. Bilder: EMBL, Hamburg; CFEL-DESY

des Kristalls verstärken. Aus dem resultierenden Beugungsmuster lässt sich die atomare Struktur schließlich berechnen. „Wir sprechen von einer Art mathematischer Lupe“, erläutert DESY-Forscher Cornelius Gati das Verfahren, das vor einem Jahrhundert vom deutschen Röntgenpionier Max von Laue sowie den Briten William Henry Bragg und William Lawrence Bragg begründet wurde.

Auch die Berechnung der Struktur aus dem Beugungsmuster ist keine triviale Aufgabe. Denn Biomoleküle bestehen in der Regel aus Tausenden bis Millionen Atomen und erzeugen entsprechend komplexe Muster. Doch dank immer ausgefeilterer mathematischer Techniken und vor allem immer leistungsfähigerer Computer haben Forscher in den vergangenen 50 Jahren bereits die Struktur von rund 90 000 Biomolekülen entschlüsselt, darunter kleine wie Insulin, aber auch riesige wie das Ribosom, die Proteinfabrik in biologischen Zellen.

Der Haken an der Methode: Viele Proteine lassen sich nur widerwillig in Kristallform zwingen, denn sie sind für flüssiges Medium gemacht, in dem biologische Prozesse ablaufen. Die Forscher können oft schon froh sein, wenn es gelingt, mikrometerkleine Kristalle zu züchten. Je kleiner der Kristall, desto intensiver muss das Röntgenlicht sein. Daher nutzt die moderne Kristallographie Röntgenquellen,

die von großen Teilchenbeschleunigern gespeist werden. Nahezu lichtschnelle Elektronen aus dem Beschleuniger fliegen durch einen mit Magneten abgesteckten Slalomkurs und senden in jeder Kurve Synchrotronstrahlung aus. So entsteht ein heller, brillanter Röntgenstrahl, mit dem sich auch Mikrokristalle noch untersuchen lassen.

Auf diese Weise hat etwa eine Gruppe um Inari Kursula vom Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI) kürzlich zwei wichtige Proteine des Malariaparasiten entschlüsselt. Diese beiden Varianten des Strukturproteins Aktin verleihen den sogenannten Plasmodien ihre Beweglichkeit und spielen damit eine bedeutende Rolle bei der Infektion menschlicher Zellen. Aktin ist eines der häufigsten Proteine in der Natur, ist unerlässlich für die Muskelbewegung und kommt in verschiedenen Formen bei fast allen Lebewesen vor.

Wie entert der Malariaparasit die roten Blutkörperchen?

Die beiden Aktin-Varianten des Malariaparasiten weichen jedoch deutlich von jenen ab, die in anderen Lebewesen gefunden wurden, wie Kursula berichtet: „Wir verstehen jetzt, dass sich die Aktin-Filamente der Plasmodien stark von anderen Aktin-Filamenten, beispielsweise des Menschen,

unterscheiden und dass sie auf völlig andere Weise aufgebaut werden als diese.“ Dieses Wissen könnte in Zukunft dazu beitragen, maßgeschneiderte Malariamedikamente zu entwerfen.

Ebenfalls mit Hilfe der Röntgenstrukturanalyse haben Forscher des US-Instituts für Allergien und Infektionskrankheiten (NIAID) einen Impfstoffkandidaten gegen das Respiratorische Syncytial-Virus (RSV) maßgeschneidert, das bei Säuglingen und Kleinkindern unter drei Jahren die weltweit häufigste Ursache akuter Atemwegsinfekte ist. Etwa 160 000 Kinder sterben jedes Jahr daran. Die Wissenschaftler hatten die atomgenaue Struktur des sogenannten F-Proteins bestimmt, mit dessen Hilfe das Virus in die Zelle eindringt. Eine künstlich hergestellte, harmlose Form dieses Proteins soll nun als Impfstoff das körpereigene Immunsystem auf eine derartige Attacke vorbereiten.

Impfstoff gegen Atemwegsinfekte bei Kleinkindern

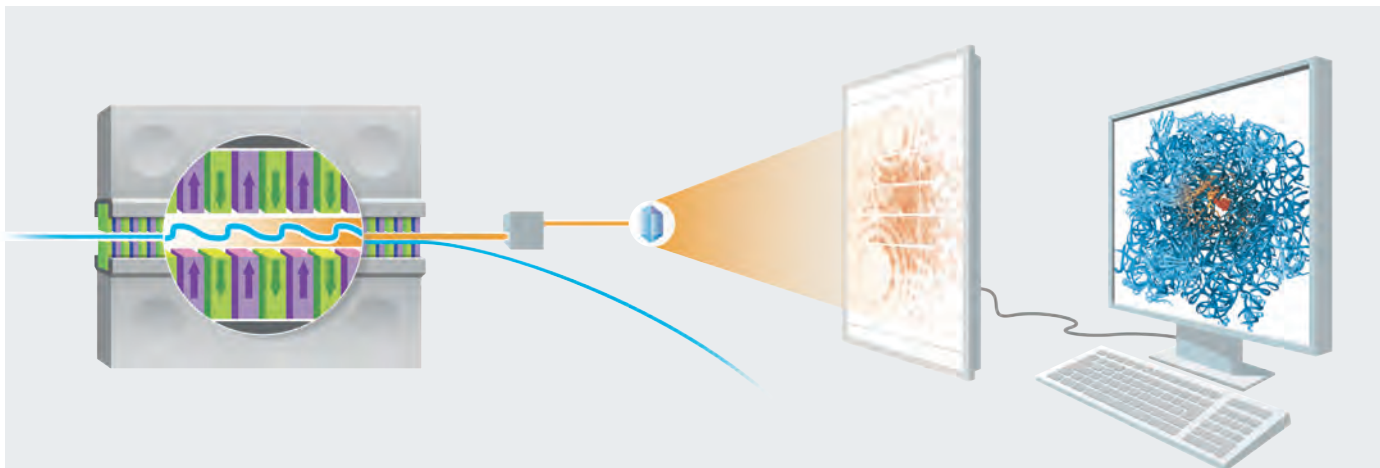
Der synthetische Impfstoff, der sich in Tierversuchen als vielversprechend erwiesen habe, gehört für das US-Fachjournal „Science“ zu den zehn wichtigsten wissenschaftlichen Erfolgen des vergangenen Jahres. Nach jahrzehntelanger Hoffnung habe die Strukturbiologie damit ihren Wert für die Impfstoffentwicklung bewiesen, schreibt das Blatt. Viele Forscher hofften nun,

dass die Arbeit auch den Weg weise für die Entwicklung maßgeschneiderter Impfstoffe gegen andere Viren wie etwa den Erregern von Hepatitis C, Dengue- und West-Nil-Fieber, denen es bislang ebenfalls meisterhaft gelinge, die Angriffe des körpereigenen Immunsystems zu parieren.

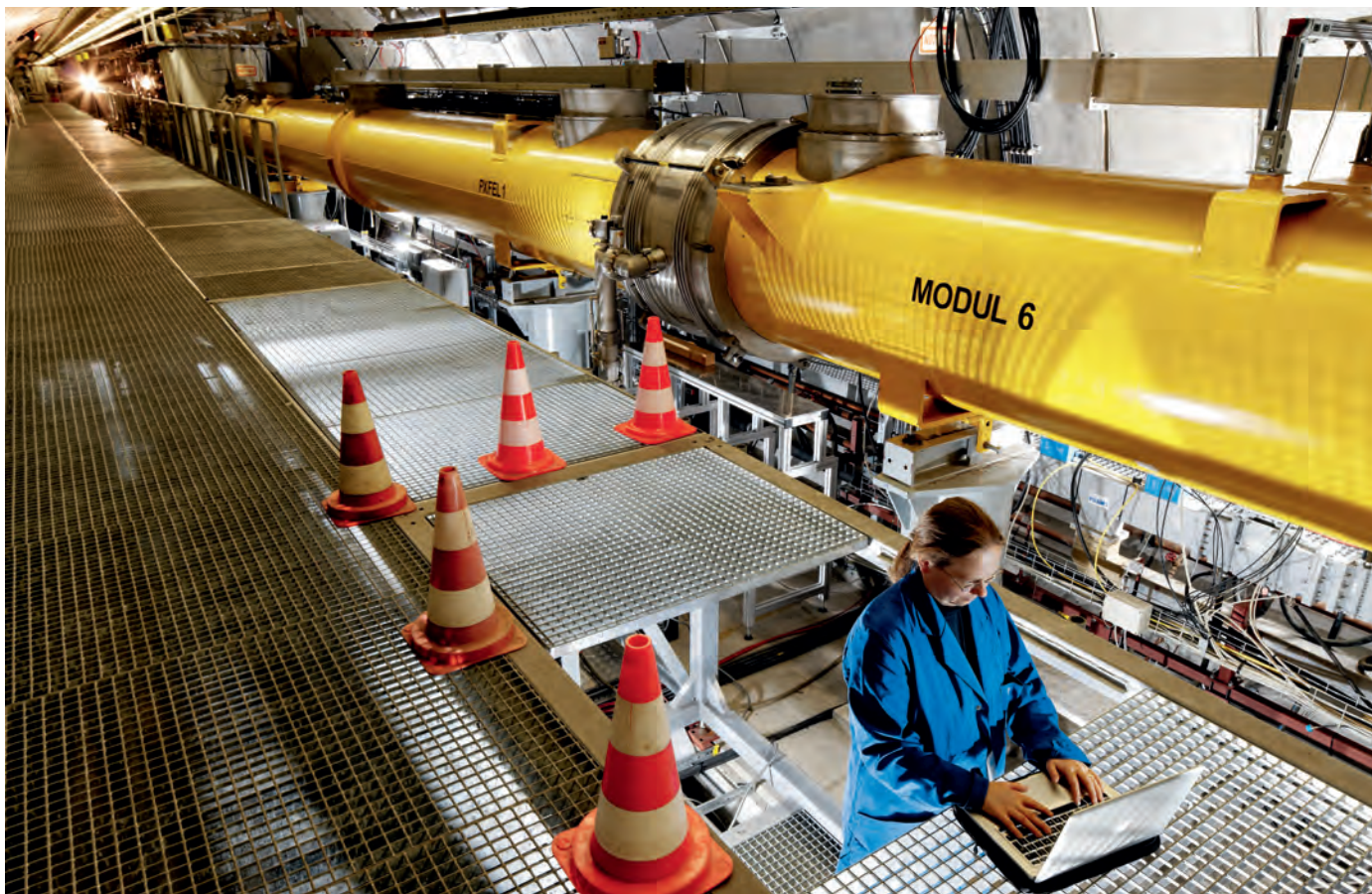
Maßgeschneiderte Wirkstoffe

„Es gibt immer neue Revolutionen“, sagt der Leiter der Hamburger Niederlassung des Europäischen Molekularbiologie-Laboratoriums (EMBL), Matthias Wilmanns. „Der Enthusiasmus ist groß.“ EMBL-Forscher haben mit Hilfe strukturbiologischer Werkzeuge allein im vergangenen Jahr unter anderem den Angriffsmechanismus eines bestimmten Herpesvirus enthüllt, einen zentralen molekularen Schalter für Hautkrebs entschlüsselt und einen Turboknopf der zelleigenen Kalziumpumpe gefunden – alles Erkenntnisse, die das Potenzial für neue, maßgeschneiderte Wirkstoffe bergen.

Beispiel Tuberkulose: Die Bakterien haben vielerorts bedrohliche Resistenzen selbst gegen Reserve-Antibiotika entwickelt. „Bei DESY konnten wir bislang die Strukturen von etwa 50 Proteinen dieses Bakteriums aufklären“, sagt Wilmanns, der auch Gründungsdirektor des neuen Hamburger Zentrums für Strukturbiologie CSSB ist. „Einige davon könnten als mögliche Angriffspunkte für künftige Medikamente dienen, die gezielt den Erreger angreifen und zugleich andere, nützliche Bakterien schonen.“



Strukturanalyse von Biomolekülen mit Röntgenlicht: Schnelle Elektronen (blau) aus einem Teilchenbeschleuniger werden in einem sogenannten Undulator (links) mit starken Magneteten (grün und violett) auf einen rasanten Slatomkurs geschickt. Dadurch senden die Teilchen energiereiches Röntgenlicht (orange) aus, das über eine Röntgenoptik auf einen Kristall (Mitte) aus Biomolekülen gelenkt wird. Der Kristall lenkt das Röntgenlicht ab und erzeugt so ein charakteristisches Streubild auf dem Detektor (rechts). Aus diesem Streubild lässt sich die Struktur der untersuchten Biomoleküle atomgenau errechnen (ganz rechts). Illustration: Cyprian Lothringer / DESY



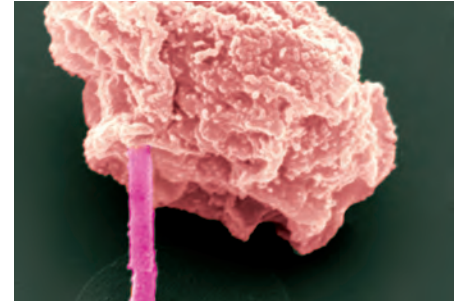
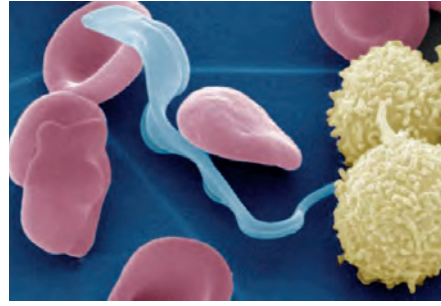
Rennmaschine: Der Freie-Elektronen-Laser FLASH bringt Elektronen auf Hochtouren und erzeugt damit ultrakurze Röntgenlaserblitze.
Bild: Heiner Müller-Elsner / DESY

Auch die Pharmaindustrie setzt daher auf die Strukturbiologie. „Einen neuen Arzneistoff zu erfinden und zu entwickeln, der wirksam und sicher ist, gehört zu den größten Herausforderungen der Biomedizin“, sagt Siegfried Thom, Geschäftsführer Forschung, Entwicklung und Innovation beim Verband forschender Arzneimittelhersteller vfa. „Je mehr dabei konkrete Fakten über die für die Krankheit relevanten Erreger oder körpereigenen Moleküle einbezogen werden können, desto weniger sind Pharmaforscher auf Versuch und Irrtum angewiesen.“

Zu den ersten Medikamenten, die strukturell für ein bestimmtes Ziel-Molekül („Target“) maßgeschneidert wurden, zählten in den 1990er Jahren die sogenannten Protease-Hemmer gegen den Aids-erreger HIV. „Mittlerweile gehört die atomgenaue Betrachtung der Target-Struktur zum festen Repertoire

der Wirkstoff-Erfinder“, erläutert Thom. „Die Strukturbiologie hat beispielsweise ermöglicht zu verstehen, warum Tumorzellen durch bestimmte Mutationen in einem Protein gegen Krebsmedikamente resistent werden, und wie man neue Arzneistoffe so aufbauen kann, dass sie sich von solchen Mutationen nicht beeindrucken lassen.“

Allerdings liefert die Strukturbiologie nicht das Patentrezept für neue Medikamente, wie der Verband betont. „Arzneistoffe müssen viele Anforderungen gleichzeitig erfüllen, nur dann kann man mit ihnen sowohl wirksam als auch verträglich therapieren“, bremst Thom überzogene Erwartungen. „Der gewünschte Effekt am Target ist dabei nur eine Anforderung unter vielen. Die Arzneistoffe müssen beispielsweise auch aus einer Tablette heraus nach der Einnahme das Zielorgan im Körper



Angriff der Tsetse-Fliege: Durch einen Biss der Tsetse-Fliege (links) wird der Parasit *Trypanosoma brucei* (Mitte) übertragen und löst die gefährliche Schlafkrankheit aus. Einen vielversprechenden Ansatzpunkt für ein potenzielles Mittel gegen den Parasiten bietet das Enzym Cathepsin B. Um seine Struktur im Röntgenlicht entschlüsseln zu können, ließen die Forscher die Enzymkristalle von lebende Insektenzellen herstellen (rechts). Der Enzymkristall sticht als pinkfarbener Stiel aus der Zelle heraus. Bilder: Michael Duszenko / Universität Tübingen

erreichen können, ohne zuvor von der Leber abgebaut zu werden. Andererseits dürfen sie sich nicht im Körper anreichern. Neben dem Target sollen sie im Körper möglichst wenige andere Moleküle beeinflussen, und so weiter.“

Achillesferse der Schlafkrankheit

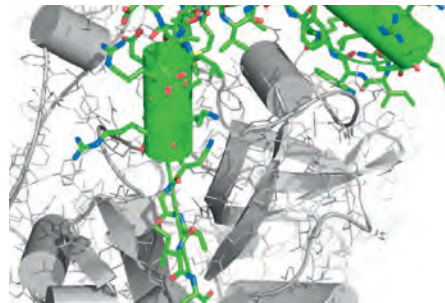
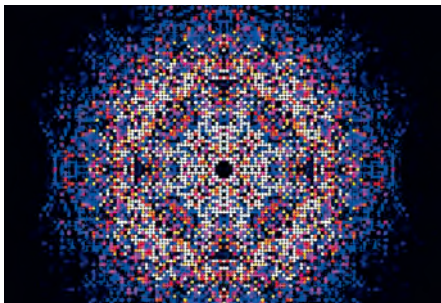
Der Weg zu einem anwendbaren Medikament ist nach wie vor lang, die Strukturbiologie kann jedoch potenzielle Angriffspunkte enthüllen. Manchmal gelingt es allerdings nicht, ausreichend große Mikrokristalle für die Analyse an einem Synchrotron zu züchten. Dann müssen noch stärkere Röntgenquellen her. Die Hoffnung der Strukturbiologen heißt in diesem Fall Röntgenlaser. Diese neuartigen, ebenfalls von einem Hochleistungsbeschleuniger gespeisten Anlagen liefern extrem helle und ultrakurze Röntgenblitze. Mit seinen internationalen Partnern baut DESY derzeit den modernsten Röntgenlaser der Welt, den European XFEL. Diese Anlagen heißen Freie-Elektronen-Laser (FEL), da frei fliegende Elektronen Blitze mit Lasereigenschaften erzeugen.

Ultrakurze Lichtblitze aus dem Röntgenlaser

Diese Blitze sind so intensiv, dass jeder Kristall in ihrem Weg sofort verdampft. Doch bevor er verdampft, gibt er noch seine innere Struktur preis: Das

charakteristische Beugungsmuster lässt sich aufzeichnen, bevor der Kristall sich auflöst. Auf diese Weise haben Hamburger Wissenschaftler am derzeit weltstärksten Röntgenlaser, der Linac Coherent Light Source (LCLS) des US-amerikanischen Forschungszentrums SLAC in Kalifornien, beispielsweise eine Achillesferse des Erregers der Schlafkrankheit enthüllt. Die detaillierte Analyse liefert den Bauplan für ein potenzielles Mittel gegen den Parasiten *Trypanosoma brucei*, der mehr als 60 Millionen Menschen vor allem im südlichen Afrika bedroht. Mit einem maßgeschneiderten molekularen Stöpsel ließe sich demnach ein lebenswichtiges Enzym des Parasiten blockieren. „Dies ist die erste neue biologische Struktur, die an einem Freie-Elektronen-Laser entschlüsselt wurde“, betont DESY-Forscher Henry Chapman vom Center for Free-Electron Laser Science (CFEL).

Die Schlafkrankheit, wissenschaftlich als Humane Afrikanische Trypanosomiasis (HAT) bezeichnet, wird durch den Biss der Tsetse-Fliege übertragen. Die Trypanosomen verstecken sich im zentralen Nervensystem, und ohne Behandlung verläuft die Infektion normalerweise tödlich. Die Krankheit wird üblicherweise mit Anti-Parasiten-Medikamenten behandelt, die allerdings ohne genaue Kenntnis der biochemischen Zusammenhänge entwickelt worden sind. Daher seien diese weniger zuverlässig und sicher als wünschenswert, unterstreichen



Aus den Kristallen des Enzyms Cathepsin B erzeugten die Forscher Röntgenbeugungsbilder. Fast 200 000 solcher Bilder ergeben zusammen eine kombinierte Intensitätskarte (links), aus der sich die dreidimensionale molekulare Struktur des Enzyms berechnen lässt (rechts).
Bilder: Karol Nass / CFEL-DESY

die Wissenschaftler. Außerdem würden immer mehr Parasiten widerstandsfähig gegen die Mittel. Neue Wirkstoffe, die gezielt die Parasiten töten, ohne den Organismus des Patienten zu beeinträchtigen, wären daher von großem Nutzen.

Vielversprechender Ansatzpunkt

Die Forscher um Chapman, Christian Betzel von der Universität Hamburg und Lars Redecke vom gemeinsamen Laboratorium für Strukturbioogie von Infektion und Entzündung der Universitäten Hamburg und Lübeck hatten das Enzym Cathepsin B des Parasiten in kristallisierter Form mit den intensiven LCLS-Röntgenblitzen durchleuchtet. „Das Enzym hatte sich in früheren Untersuchungen als vielversprechender Ansatzpunkt für ein Medikament erwiesen“, erläutert Redecke. „Das Ausschalten des Enzyms im Parasiten konnte bei Mäusen die Infektion heilen.“

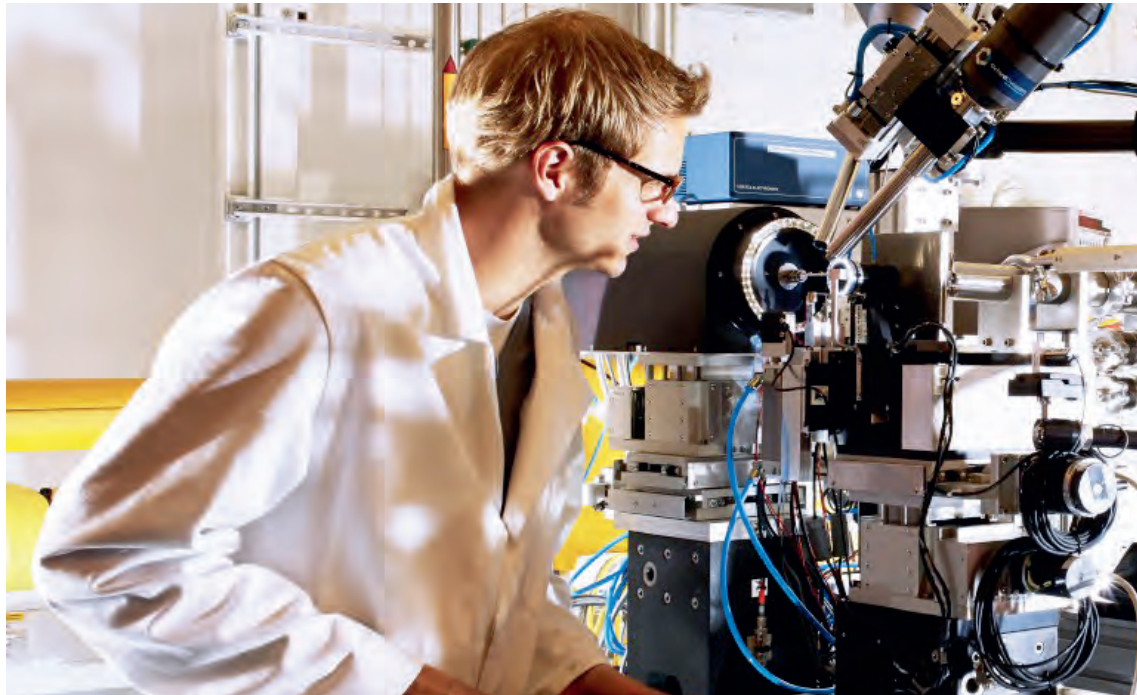
Allerdings kommt dasselbe Enzym auch beim Menschen und sogar bei allen Säugetieren vor. Legt man es unspezifisch lahm, kann das auch für den Patienten gravierende Konsequenzen haben. Mit ihrer Röntgenuntersuchung haben die Forscher nun jedoch charakteristische Unterschiede in der molekularen Struktur des Enzyms zwischen Mensch und Parasit gefunden. Damit eröffnet sich grundsätzlich die Chance, mit einem maßgeschneiderten Molekül gezielt das

Enzym des Parasiten zu blockieren, es aber beim Patienten intakt zu lassen.

Die Forscher hatten einen neuartigen Ansatz verfolgt: Sie ließen lebende Insektenzellen die Enzymkristalle in vivo herstellen. Im Gegensatz zur üblichen Kristallisation, bei der Bakterien das gewünschte Biomolekül produzieren und es nachträglich mit viel Ausschuss im Labor zu möglichst großen Einheiten kristallisiert wird, lieferte in diesem Fall nur die In-vivo-Technik, die in den Laboren von Betzel und von Michael Duszenko an der Universität Tübingen entwickelt wurde, brauchbare Kristalle.

Nützliche Helfer im Labor: Insektenzellen produzieren Enzymkristalle

Darüber hinaus hat die In-vivo-Kristallisation in Insektenzellen einen weiteren, entscheidenden Vorteil: Auf diese Weise wurde das Cathepsin B in seiner natürlichen Konfiguration „eingefroren“. Das Enzym arbeitet als eine Art molekulare Schere, die andere Proteine zerteilt. Es wird daher im Organismus in einer inaktivierten Form hergestellt, bei der ein kleines Eiweißmolekül, ein sogenanntes Peptid, die Schere blockiert. Erst wenn die Schere gebraucht wird, aktiviert die Zelle das Enzym und löst das Peptid. „Dank des angekoppelten Peptids konnten wir unter einen bislang unzugänglichen Strukturbereich des Cathepsins



schauen“, erläutert Betzel. Dort enthüllte die Analyse deutliche Unterschiede der Peptid-Bindungsstellen am Cathepsin B zwischen Parasit und Mensch, die sich für einen maßgeschneiderten künstlichen Hemmstoff nutzen lassen, der gezielt das Parasiten-Enzym blockiert.

„Auf diese Weise hat uns die Natur einen grundlegenden Bauplan dafür geliefert, wie ein künstlicher Hemmstoff für das Enzym des Parasiten aussehen könnte.“ Trotz dieses vielversprechenden Ansatzes ist ein mögliches neues Medikament allerdings noch sehr weit entfernt, wie die Wissenschaftler betonen.

Gemeinsam gegen Infektionen

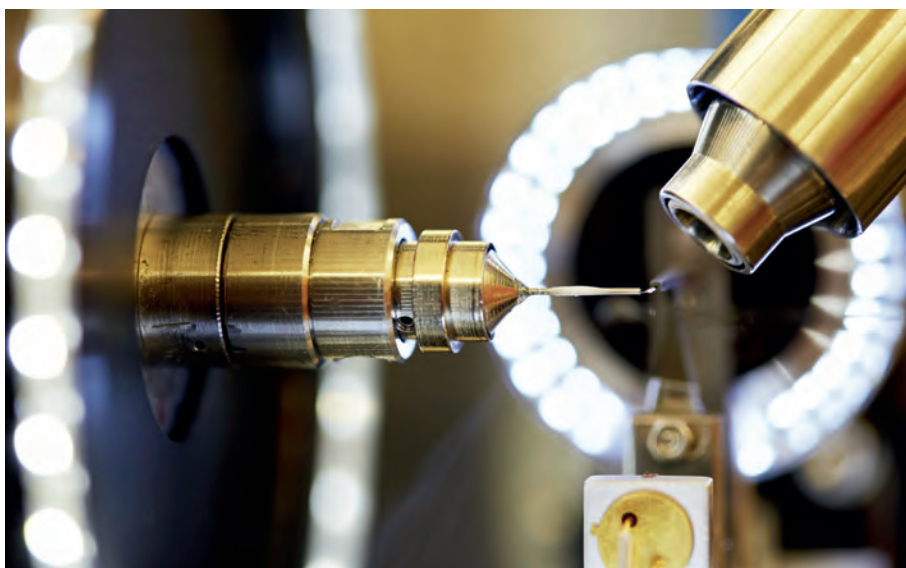
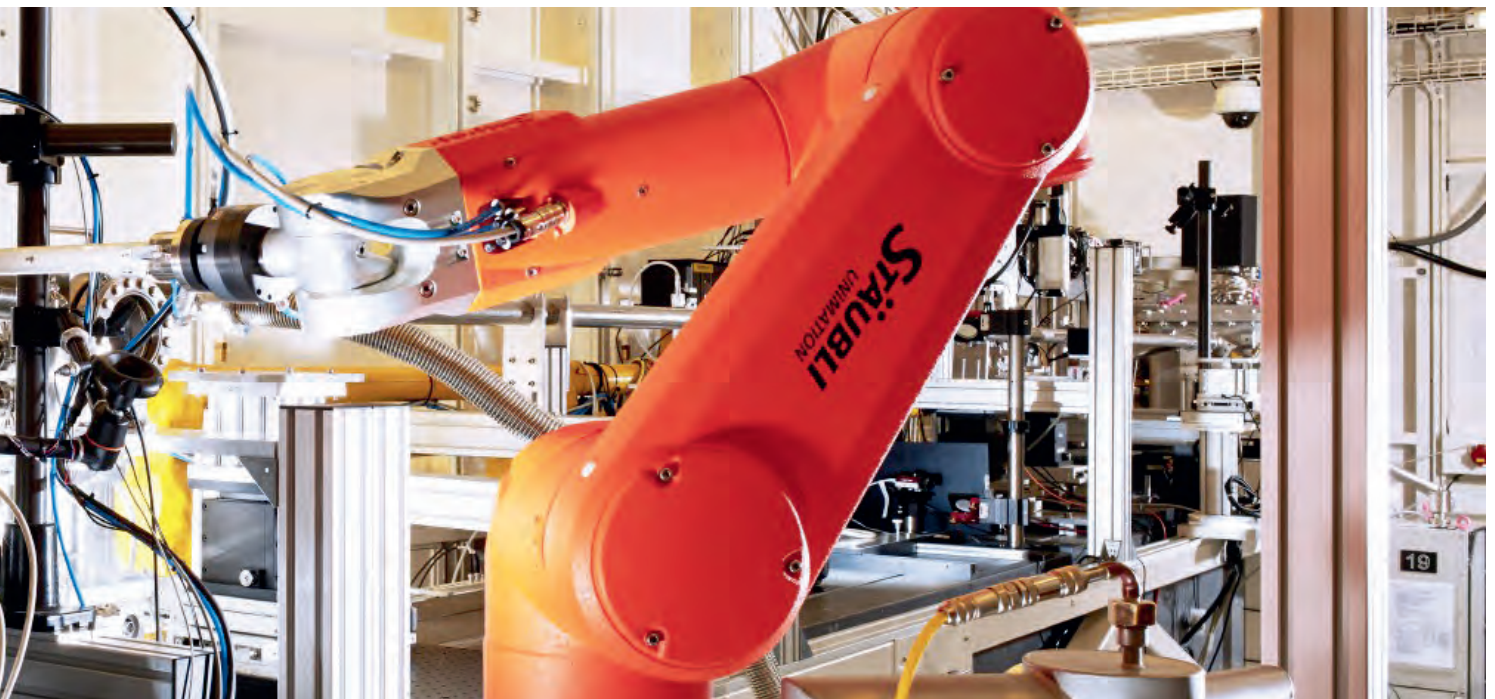
Das Beispiel Schlafkrankheit illustriert das systematische Vorgehen der Strukturbiologie. Die Infektionskrankheiten stehen besonders im Fokus des neuen Zentrums für strukturelle Systembiologie CSSB auf dem DESY-Campus für das sich neun große Institutionen zusammengetan haben: Das Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung, das Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin, das Heinrich-Pette-Institut für Experimentelle Virology, die Universität Hamburg, das Hamburger Universitäts-

klinikum, die Medizinische Hochschule Hannover, das Forschungszentrum Jülich sowie EMBL und DESY. In dem neuen Zentrum. Dort soll vor allem das Zusammenspiel von Proteinen bei medizinisch relevanten Infektionen durch Viren, Bakterien oder Parasiten entschlüsselt werden. Das Rezept dafür lautet Interdisziplinarität. Über Fach- und Instituts-grenzen hinaus werden Physiker, Biologen und Mediziner unter dem gemeinsamen Dach des CSSB neue Forschungsansätze verfolgen.

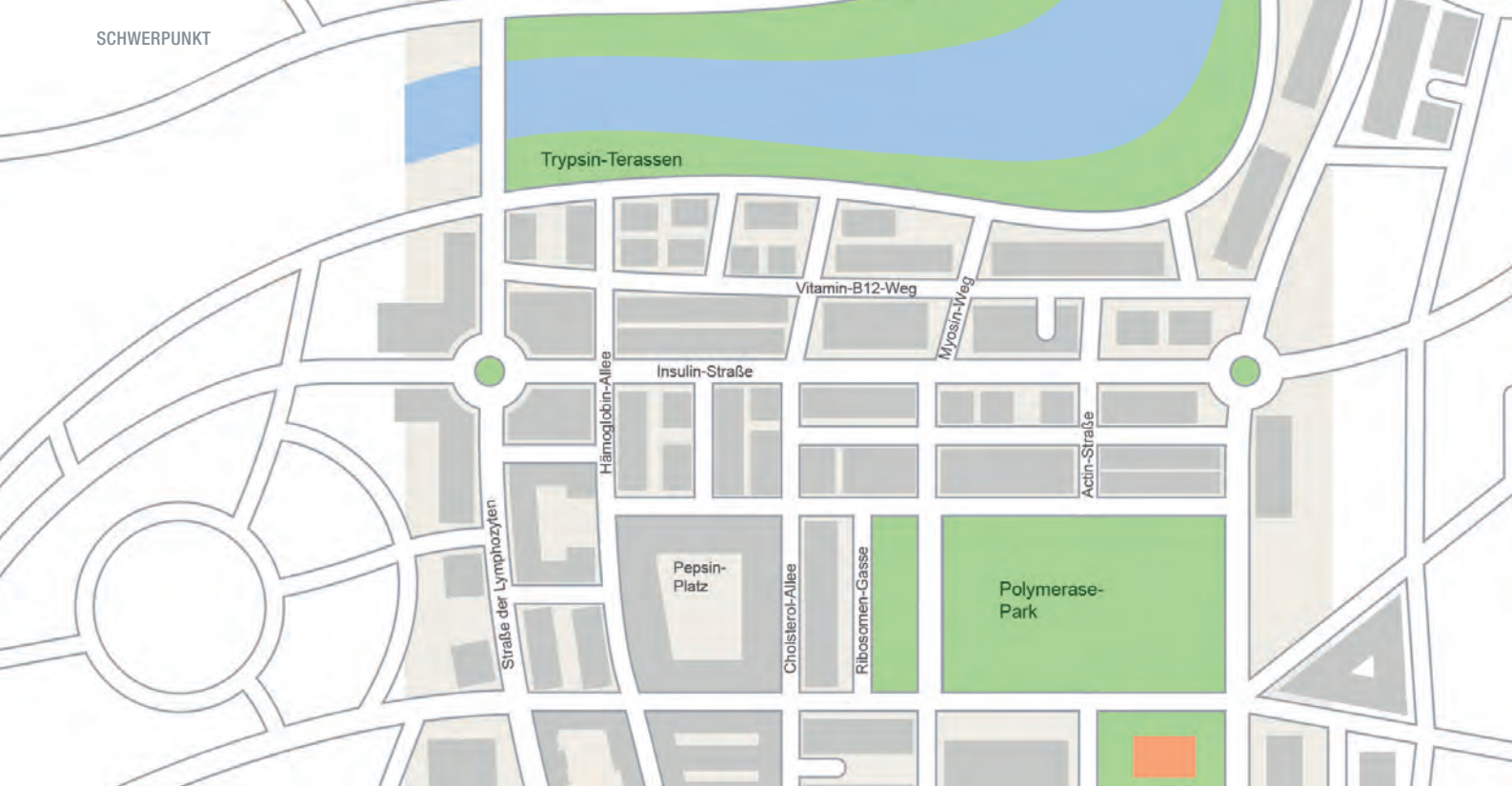
„Unter dem gemeinsamen Dach des CSSB entstehen erfolgversprechende Forschungsansätze über Fach- und Instituts-grenzen hinaus.“

Helmut Dosch, DESY-Direktor

Das CSSB profitiert von der Nähe der DESY-Röntgenlichtquellen. Noch dazu wird es mit einem Hochleistungs-Elektronenmikroskop ausgestattet, einem weiteren wichtigen Werkzeug der Strukturbiologie. „Diese vielseitige Kombination von Untersuchungsmethoden findet sich nirgendwo sonst auf der Welt“, betont Biochemiker Meier, der die Task Force zum Aufbau des neuen Zentrums geleitet hat. „Das CSSB wird die Infektionsbiologie einen entscheidenden Schritt voranbringen“, ist Meier sich sicher.



Röntgen für Proteine: Die Strahlführung P11 an DESYs Röntgenlichtquelle PETRA III ist speziell für Beugungsexperimente mit biologischen Proben ausgelegt (oben). Die empfindlichen Proteinkristalle werden mit flüssigem Stickstoff gekühlt (Mitte) und auf einem Probenhalter (unten) genau in den intensiven Röntgenstrahl positioniert. Bilder: Heiner Müller-Elsner / DESY



„Google Maps für den menschlichen Körper“

Moderne Röntgenlichtquellen bieten die Möglichkeit, die Struktur von Biomolekülen und Krankheitserregern atomgenau zu entschlüsseln und auf diese Weise systematisch ihre Funktion zu erforschen. Damit bekommt die Bioforschung eine neue Qualität, erläutert Matthias Wilmanns vom Europäischen Molekularbiologie-Laboratorium EMBL. Wilmanns ist Mitinitiator und Gründungsdirektor des Centre for Structural Systems Biology CSSB, das neun Partner derzeit auf dem DESY-Campus in Hamburg errichten.

femto *Was macht die Strukturbiologie?*

Wilmanns Wir kennen alle Google Maps und ähnliche Angebote. Wir betreiben eine Art Google Maps für den menschlichen Körper. Der Mensch hat ja ein grundlegendes Interesse, so genau in den Körper hineinzoomen zu können, wie es eben geht. Vor hundert Jahren gab es dazu die Lichtmikroskopie und heute die Röntgenstrukturanalyse. Mit dieser Methode sind wir jetzt in der Lage, einzelne Atome zu sehen. Das ist ein Meilenstein.

Sie entschlüsseln mit Hilfe des Röntgenlichts die atomaren Strukturen eines Biomoleküls und lernen daraus etwas über seine Funktion?

Wilmanns Ja, genau so funktioniert das. Und nehmen Sie die Lehrbücher von heute, die sind voll von unserer Forschung, der Strukturbiologie. Das gilt sogar schon für Schulbücher. Darin gibt es Bilder von komplexen Biomolekülen, die in meinen Büchern, die ich zu Schulzeiten gehabt habe, gar nicht möglich waren. Das ist wahrer Erkenntnisgewinn.



Matthias Wilmanns leitet die Außenstelle des Europäischen Laboratoriums für Molekularbiologie bei DESY. Bilder: Lars Berg / DESY

Hat das auch praktische Anwendungen?

Wilmanns Man versucht damit beispielsweise, neue Wege in der Medikamentenforschung zu beschreiten. Wir haben etwa 30 000 Proteine im Körper. Die einfachste Idee für ein Medikament lautet, dass ich gezielt eines dieser Proteine mit einem kleinen, maßgeschneiderten Molekül blockiere, das genau die passende Form hat. Das wird oft Schlüssel-Schloss-Prinzip genannt, wobei das nur zweidimensional gedacht ist. In Wirklichkeit ist es eher wie eine dreidimensionale Karte, wo es Berge gibt und Täler, Krater und Höhlen und vieles mehr. Und je näher man diese Täler, Berge und Höhlen kennt, umso besser kann man etwas Passendes maßschneidern, um es darauf zu setzen. Je genauer man die Struktur kennt, desto weniger muss man ausprobieren. Da kann man auf den ungeheuer teuren Wegen, die oft in der Pharmaforschung beschritten werden müssen, Abkürzungen nehmen und Millionenbeträge sparen.

Haben wir dann bald für jedes Leiden das maßgeschneiderte Medikament?

Wilmanns Die Strukturbiologie hat auf jeden Fall eine neue Qualität der Forschung gebracht. Aber man muss auf dem Boden der Realität bleiben. Man wird nicht über Nacht alle Probleme der Medikamentenentwicklung lösen können. Denn leider sind viele Krankheiten fürchterlich kompliziert, insbesondere die Infektionskrankheiten, das ist mein Forschungsgebiet. Es ist eben nicht immer so, dass nur ein bestimmtes Molekül daran beteiligt ist. Es sind oft sogar hunderte Moleküle, die zusammenwirken und

etwas verursachen. Schnell denkt man: ‚Hier habe ich ein interessantes Molekül gefunden und versuche mal, es zu blockieren‘, und dann stellt man fest, dass es nebenan mit anderen Molekülen interagiert, die wieder interagieren und so weiter.

Immerhin bietet die Strukturbiologie die Möglichkeit, so ein Problem systematisch anzugehen. Wie lief das denn bisher?

Wilmanns Die klassische Methode von vor 50 oder 100 Jahren, die aber heute auch noch teilweise angewendet wird, besteht darin, massenweise kleine Moleküle zu produzieren oder zu extrahieren, aus tropischen Pflanzen beispielsweise, und an Modellen von Organismen und Krankheiten auszuprobieren. Man schaut letztendlich nach, was die Substanzen bewirken, Phänotyp-Antwort nennen wir das. Aber im Grunde ist das bessere Alchemie.

Die Röntgenkristallographie, mit der viele dieser biologischen Strukturen heute entschlüsselt werden, ist ja keine neue Technik. Warum entwickelt sich die Strukturbiologie erst heute so rasant?

Wilmanns Die Methode an sich, die Kristallographie, die gibt es seit über 100 Jahren. Aber was über lange Zeit gefehlt hat, waren die Computer. So einfach kann man das sagen. Es gab nicht die nötigen Werkzeuge, um die Daten in der Komplexität auswerten zu können, um Strukturbiologie betreiben zu können. Was wir in den letzten 20, 30 Jahren gesehen haben, ist eine Explosion der Zahl entschlüsselter Strukturen. Angefangen von relativ einfachen Proteinen wie Insulin oder Lysozym mit

vergleichsweise wenigen Atomen – wobei auch die einfachen biologischen Makromoleküle sehr kompliziert sind –, bis hin zum Beispiel zum Ribosom, das ja unter anderem mit Hilfe von DESY-Anlagen entschlüsselt wurde. Das Ribosom hat drei Mega-Dalton Molekülmasse, also einige Hunderttausend Atome, das ist eine gewaltige Zahl. Als ich in den 1980er Jahren meine Doktorarbeit machte, da haben wir von der Struktur des Ribosoms geträumt. Und dass es dann so schnell möglich wurde, das hätte damals wohl niemand gedacht.

Das heißt, die rasante Entwicklung der Computertechnik hat der Strukturbiologie den Weg bereitet?

Wilmanns Eine große Revolution war auch die Synchrotronstrahlung. Ende der 1960er Jahre, Anfang der 1970er Jahre haben Ken Holmes und Hugh Huxley am DESY-Ring das erste Mal Synchrotronstrahlung für biologische Proben verwendet. Seitdem haben sich die Strahlenquellen rasant entwickelt. Und es ist natürlich schön zu sehen, dass Hamburg mit DESYs Speicherring PETRA III auch heute wirklich ganz vorne ist.

Und diese Entwicklung ist ja noch längst nicht zu Ende.

Wilmanns Die nächste Revolution, was die Strahlung anbelangt, ist der Röntgenlaser, etwa der European XFEL, der gerade vom DESY-Campus in Hamburg-Bahrenfeld bis ins benachbarte Schenefeld gebaut wird. Wenn wir diese Laser sehen, die es momentan nur in Stanford in Kalifornien gibt und in Japan, und was für Arbeiten da jetzt herauskommen, dann zeigt das, dass wir in der Lage sind, damit noch in völlig neue Dimensionen vorzudringen.

Welche Rolle soll das CSSB dabei spielen?

Wilmanns Als wir uns 2004 das erste Mal zusammengesetzt haben, da war die Grundidee: Wir haben die fantastischen Infrastrukturen – auch schon damals – hier in Hamburg. Die wollen wir komplementieren, indem wir lokal hier an Ort und Stelle Spitzenforscher rekrutieren. Das war die Grundidee für das CSSB. Unser Ziel ist, auf Augenhöhe mit den weltweit führenden Forschungsinstitutionen auf diesem Gebiet zu arbeiten. Das sind vielleicht eine Handvoll. Und die Kombination CSSB, PETRA III und European XFEL, die ist weltweit einmalig.

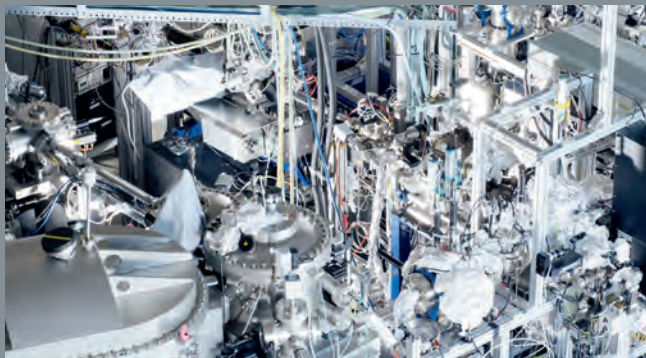


FEMTOPOLIS

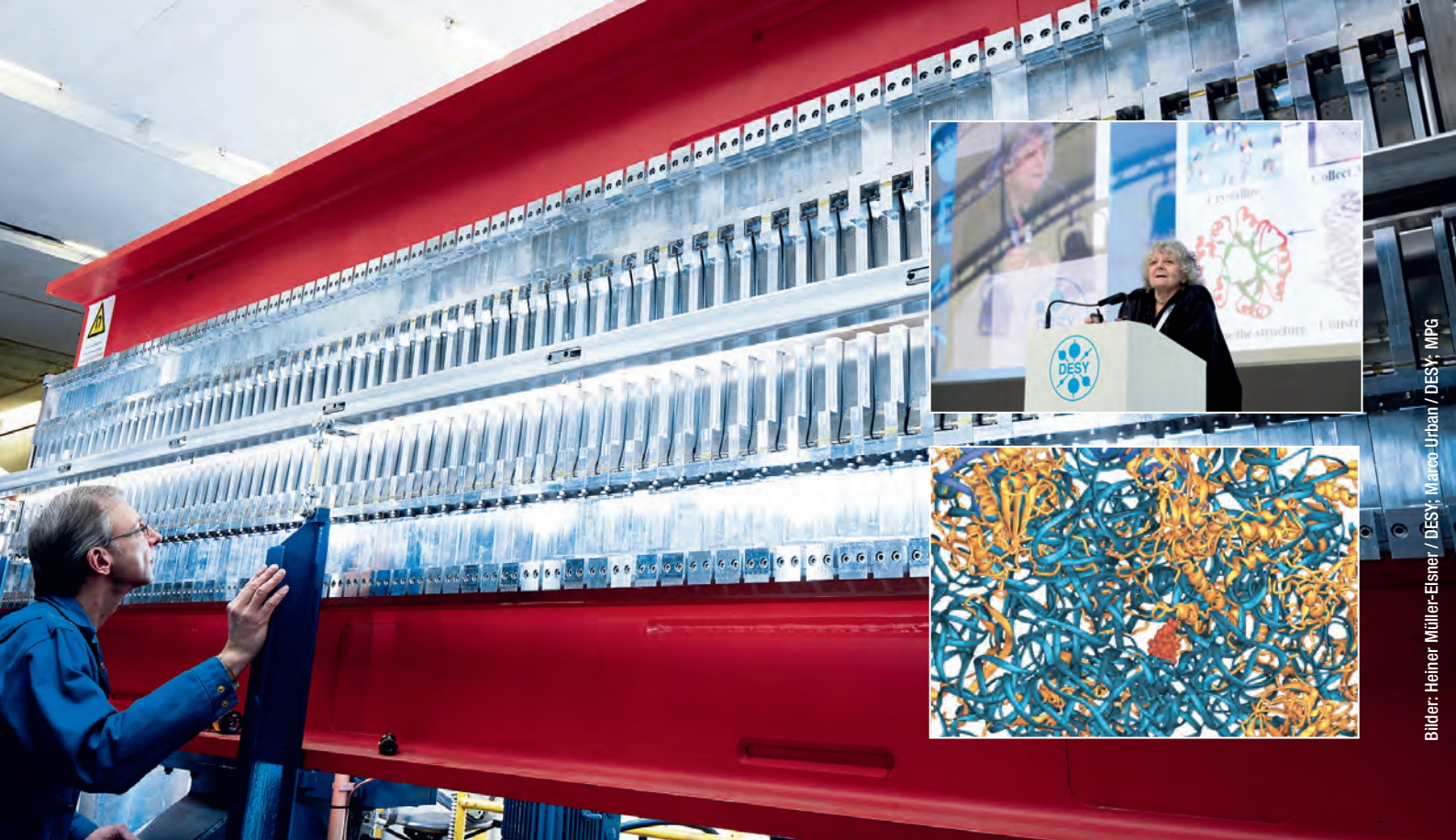
Kein Hightech ohne Alufolie

Wer hat denn hier sein Pausenbrot ausgewickelt und die Alufolie einfach am Experiment entsorgt? Glücklicherweise niemand, denn Essen ist untersagt in der Experimentierhalle von FLASH, dem Freie-Elektronen-Laser bei DESY in Hamburg. Der Teilchenbeschleuniger produziert intensive, ultrakurze Röntgenlaserblitze, die durch sogenannte Strahlrohre zu den Experimentierplätzen flitzen, um verschiedenste Proben atomgenau zu durchleuchten. Damit ihr lichtschneller Flug nicht von unerwünschten Teilchen gestört wird, muss in den Strahlrohren ein möglichst perfektes Vakuum herrschen. Das bedeutet nicht nur Luft absaugen, sondern auch Wassermoleküle und Restgase entfernen, die sich im Inneren der Metallröhren niedergeschlagen haben. Heizbänder, die um die Rohre gewickelt werden, sollen diesen Störenfriedern ordentlich Dampf machen. Und dazu kommt die Alufolie auf den Hightech-Aufbau: Sie isoliert das Ganze und sorgt dafür, dass die Hitze im Inneren der Rohre ihre Wirkung entfaltet und nicht in die Halle entweicht. So können die Vakuumpumpen optimal arbeiten und den Lichtteilchen eine störungsfreie Flugstrecke bereiten.

Was aussieht wie ein hingeknülltes Provisorium ist also in Wahrheit wichtiger Bestandteil der Hightech-Messplätze modernster Röntgenlichtquellen!



Alufolie im Einsatz: Experimentierhalle von FLASH
 Bilder: iStockphoto; Heiner Müller-Elsner / DESY



Bilder: Heiner Müller-Eisner / DESY; Marco Urban / DESY; MPG

Es begann mit einem Muskel

Vor 50 Jahren starteten an DESYs ältestem Ringbeschleuniger Messungen mit einem ganz besonderen Licht – der sogenannten Synchrotronstrahlung. Aus den bescheidenen Anfängen entwickelte sich DESY zu einem der weltweit führenden Zentren auf diesem Gebiet. Heute nutzen Naturwissenschaftler der verschiedensten Fachbereiche die intensive Röntgenstrahlung aus den Teilchenbeschleunigern in Hamburg, um mit atomarer Genauigkeit ins Innere von Werkstoffen, Kulturgütern, Knochenimplantaten, Nanomaterialien oder Biomolekülen zu blicken.

Die Erfolgsgeschichte der Strukturbiologie begann am DESY-Beschleuniger mit einem Muskel: Ken Holmes und Gerd Rosenbaum nahmen im Sommer 1970 die ersten Beugungsbilder von Insektenflugmuskeln mit Synchrotronstrahlung auf. Was sich gegen heutige Beugungsbilder wie grobe Kleckse ausnimmt, war damals ein wissenschaftlicher Durchbruch. Folgerichtig gelang es Ende der 1970er Jahre, den molekularen Ablauf der Muskelbewegung zu entschlüsseln. Dazu nutzten die Pioniere der Strukturbiologie den 1974 in Betrieb gegangenen DORIS-Speicherring, der die noch junge

Forschungsdisziplin richtig in Schwung brachte. Die intensiven und gebündelten Röntgenstrahlen aus dem Teilchenbeschleuniger erwiesen sich als ideales Werkzeug, um die Struktur von Proteinen im Detail zu analysieren. Experten des Europäischen Laboratoriums für Molekularbiologie, der Max-Planck-Gesellschaft und der Universität Hamburg analysierten eine Fülle von Biomolekülen, entschlüsselten auf molekularer Ebene den Angriff von Krankheitserregern und Ansatzpunkte für Medikamente. Der Biochemikerin Ada Yonath gelangen an DORIS entscheidende Experimente zur Aufklärung der komplexen Struktur des Ribosoms – eines der zentralen Moleküle des Lebens. 2009 wurde sie gemeinsam mit zwei Fachkollegen mit dem Nobelpreis für Chemie geehrt. DORIS zählte zu den weltweit führenden Quellen für Synchrotronstrahlung, in den späten 1990er Jahren kamen etwa 15 Prozent der weltweit entschlüsselten Proteinstrukturen aus Hamburg. Doch auch methodisch gelangen entscheidende Durchbrüche: Forscher der EMBL-Außenstelle auf dem DESY-Campus entwickelten sowohl Detektoren als auch Analysesoftware für die Proteinkristallographie, die sich weltweit durchsetzten.

Spezielle Magnetstrukturen (Undulatoren, großes Foto) erzeugen das intensive Röntgenlicht, mit dem auch Nobelpreisträgerin Ada Yonath (kleines Foto oben) die Struktur der Ribosomen entschlüsselte (kleines Foto unten).

2014: das internationale Jahr der Kristallographie

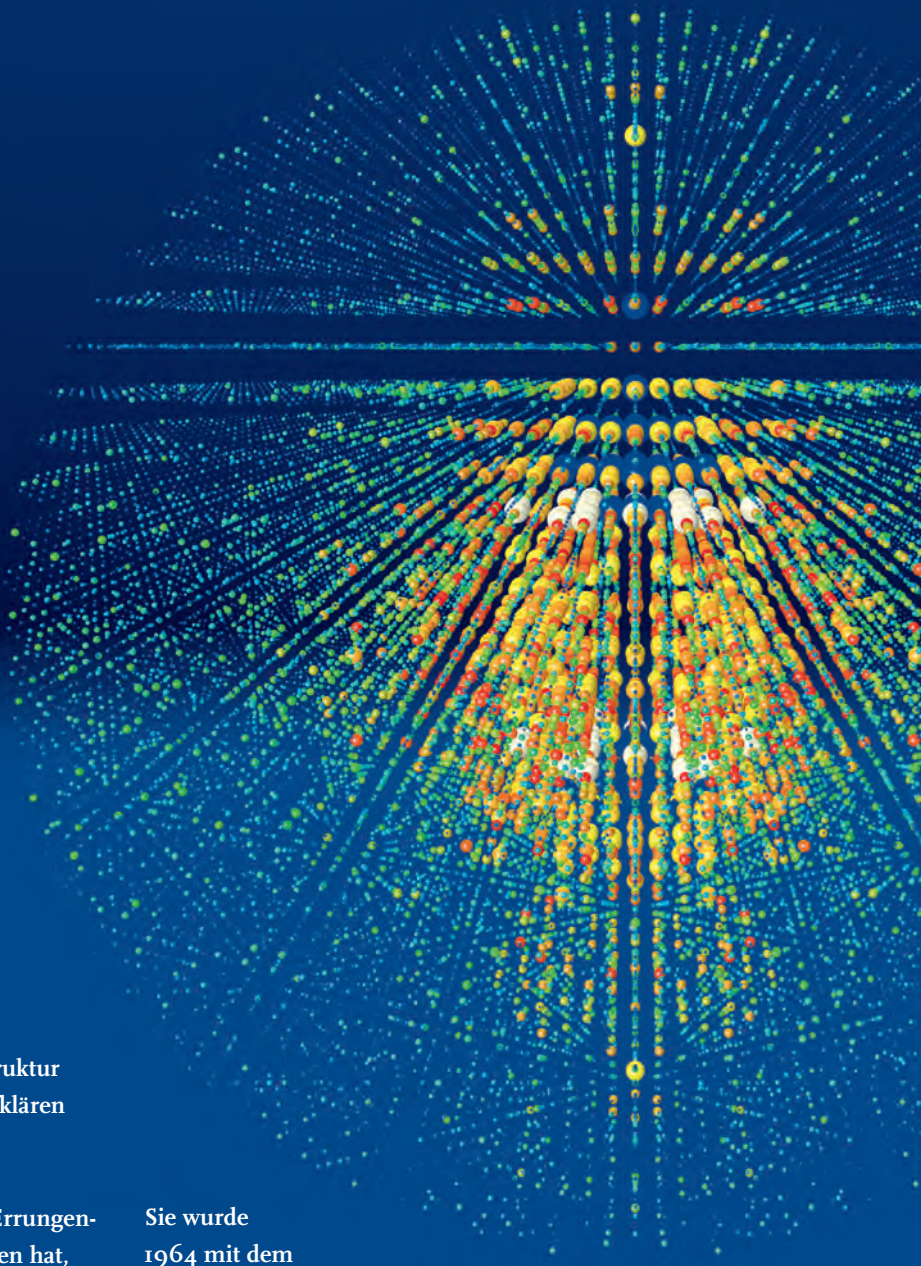
Vor hundert Jahren erhielt der deutsche Röntgenpionier Max von Laue den Physiknobelpreis für seine bahnbrechenden Entdeckungen zur Beugung von Röntgenstrahlen an Kristallen. Seine Versuche markieren die Geburtsstunde der Röntgenkristallographie. Deren Errungenschaften sind heute allgegenwärtig – ob sparsamere Flugzeugturbinen, neue Medikamente oder bessere Speicherchips. Mit dem internationalen Jahr der Kristallographie 2014 wollen die Vereinten Nationen (UN) diese Technik in den öffentlichen Fokus stellen – eine Technik, die inzwischen fast die gesamte Forschung durchdringt und überall dort eingesetzt wird, wo man die räumliche Struktur von Materie mit atomarer Genauigkeit aufklären will.

Welche bedeutsamen wissenschaftlichen Errungenschaften die Kristallographie zu verzeichnen hat, zeigt sich an den 23 Nobelpreisen, die auf diesem Gebiet verliehen wurden. Um etwa die Struktur und Funktion von Biomolekülen zu entschlüsseln, ist der Röntgenblick unverzichtbar. Der amerikanische Chemiker James B. Sumner entdeckte, dass sich Enzyme kristallisieren lassen, und ebnete damit den Weg zur modernen Strukturbiologie. 1946 erhielt er dafür den Chemienobelpreis.

Zwischen 1920 und 1960 half die Röntgenkristallographie, die Strukturen von verschiedenen biologischen Schlüssel-molekülen aufzuklären und damit zu entscheidenden medizinischen Fortschritten beizutragen. So enträtselte die Britin Dorothy Hodgkin unter anderem die Struktur von Cholesterol, Penicillin, Vitamin B₁₂ und Insulin.

Sie wurde 1964 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet.

Auch die Struktur komplexer Moleküle offenbarte sich: Die Briten Max Perutz und John Kendrew entschlüsselten das sauerstoffbindende Hämoglobin und erhielten dafür 1962 den Nobelpreis für Chemie. 2012 ging diese Auszeichnung an Robert Lefkowitz und Brian Kobilka aus den USA, welche das Innenleben einer wichtigen Familie von Zellrezeptoren enthüllt hatten, die nahezu alle Funktionen des menschlichen Körpers steuern. „In den vergangenen 50 Jahren haben Kristallographen die Struktur von mehr als 90 000 Biomolekülen enthüllt, mit weitreichenden Folgen für die Gesundheitsversorgung“, unterstreicht Irina



Das Bild fasst die Information von 15 000 gemessenen Beugungsmustern zusammen und diente zur Entschlüsselung der Struktur des Photosystem-I-Proteinkomplexes.
Bild: Thomas White / CFEL-DESY

Bokova, Generaldirektorin der UN-Bildungsorganisation UNESCO, die das Wissenschaftsjahr mitveranstaltet. Was mühsam begann – an der Entschlüsselung des Hämoglobins arbeitete Max Perutz mit Unterbrechungen 20 Jahre lang – ist heute Alltag für viele Forscher. Ausgefeilte Algorithmen helfen dabei, aus den komplexen Beugungsmustern die Struktur der Moleküle zu berechnen. Auch die Detektoren zum Nachweis der Röntgenstrahlung sind heute viel schneller als damals. Entscheidend ist jedoch, dass Forscher nicht mehr auf Röntgenröhren angewiesen sind. Mit den Synchrotronen stehen ihnen heute Strahlungsquellen zur Verfügung, die um viele Größenordnungen leistungsfähiger sind. Und auch die nächste Generation steht schon parat: Freie-Elektronen-Laser. Sie erzeugen ultrakurze Röntgenpulse, die noch viel heller und viel stärker gebündelt sind als die Strahlung aus einem Synchrotron.

Internationales Jahr der Kristallographie:

www.iycr2014.org

www.iycr2014.de

Ist die Kristallographie nach hundert Jahren überholt, Henry Chapman?

Henry Chapman ist Professor am Center for Free-Electron Laser Science (CFEL) und lotet das Anwendungspotenzial modernster Freie-Elektronen-Laser (FEL) aus, deren Röntgenpulse noch eine Milliarde Mal intensiver sind als Synchrotronstrahlung.

femto Herr Chapman, Sie sind einer der Wegbereiter für die Forschung an Freie-Elektronen-Lasern. Diese eröffnen völlig neue Möglichkeiten, auch nicht-kristalline Strukturen zu entschlüsseln. Ist die Kristallographie nach hundert Jahren überholt?

Chapman Die Kristallographie ist nach wie vor ein aufregendes Forschungsfeld mit vielen zukunftsweisenden Anwendungen. Freie-Elektronen-Laser bieten uns die Chance, bewährte Ideen in neuen Richtungen zu nutzen, um etwa die Strukturen individueller Moleküle aufzuklären.

femto Und das wären?

Chapman Vor allem Biomoleküle. Alle Lebensprozesse spielen sich in wässriger Lösung ab. Feste Kristallformen kommen einfach nicht vor. Eine entsprechende Herausforderung ist die Proteinkristallographie – viele biologische Strukturen lassen sich gar nicht in ein Kristallkorsett zwingen. Ihre Analyse kann aber beispielsweise die Wirkstoffforschung in der Medizin entscheidend voranbringen.

femto Wie weit ist die Forschung auf diesem Gebiet?

Chapman Wir sind mittlerweile in der Lage, mit den extrem kurzen Röntgenpulsen ein Bild mit atomarer Auflösung aufzunehmen, bevor das untersuchte Biomolekül von der intensiven Strahlung zerstört wird. Das ist ein wichtiger Durchbruch. Als Probe reichen uns heutzutage kleinste Nanokristalle, das minimiert die aufwändige Kristallisation.

femto Wann werden wir dazu gar keine Kristalle mehr brauchen?

Chapman Es gibt noch einige technische Herausforderungen, wir müssen Störsignale ausschalten und die Detektoren optimieren. Außerdem arbeiten wir daran, einzelne Moleküle so zu positionieren, dass der Röntgenstrahl sie auch erwischt. Dazu brauchen wir eine Art Aerosol, das aber auch nicht zu verdünnt sein darf, sonst reicht

die Trefferrate nicht.

femto Also wann?

Chapman In einigen Jahren dürfte es soweit sein. Derzeit gibt es immer neue Durchbrüche.



DESY-Forscher Henry Chapman
Bild: Heiner Müller-Eisner / DESY

Start-up-Preis für Laserprojekt

Helmholtz-Ausgründung entwickelt Hochleistungslaser für Wissenschaft und Industrie

Mit der Entwicklung von Hochleistungslasern für Wissenschaft und Industrie hat eine gemeinsame Ausgründung von DESY und dem Helmholtz-Institut Jena den Start-up-Preis der Kompetenznetze Optische Technologien OptecNet gewonnen. Die in Gründung befindliche Firma Class 5 Photonics setzte sich gegen 14 hochkarätige Mitbewerber durch. Im Finale auf der Messe Optatec überzeugten die vier Physiker die Jury mit ihrer innovativen Lasertechnologie und einem herausragenden Geschäftsmodell.



Mark J. Prandolini, Robert Riedel und Michael Schulz (v.l.n.r.) aus dem Team der Class 5 Photonics. Bild: Class 5 Photonics

„Laser sind heute ein Universalwerkzeug für die Bearbeitung unterschiedlichster Materialien, von der Automobilindustrie bis zur Medizintechnik“, erläutert Michael Schulz aus dem Class-5-Photonics-Team. „Je kürzer die Laserpulse sind, desto genauer kann man damit arbeiten.“ DESY-Forscher Schulz und seine Kollegen Franz Tavella, Robert Riedel und Mark J. Prandolini vom Helmholtz-Institut Jena, einer Außenstelle der GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, haben flexible Hochleistungslaser entwickelt, die Pulse im Femtosekundenbereich erzeugen. Eine Femtosekunde entspricht einer milliardstel Sekunde.

Für ihre flexiblen Femtosekunden-Hochleistungslaser setzen die Physiker auf eine innovative Technik, die wesentlich kompakter ist als existierende Systeme und derart kurze Pulse bei solchen hohen Leistungen überhaupt erst ermöglicht. Der Prototyp des neuen Hochleistungslasers mit einer geplanten Ausgangsleistung von 20 Watt ist nur 80 mal 80 Zentimeter groß.

www.class5photonics.com

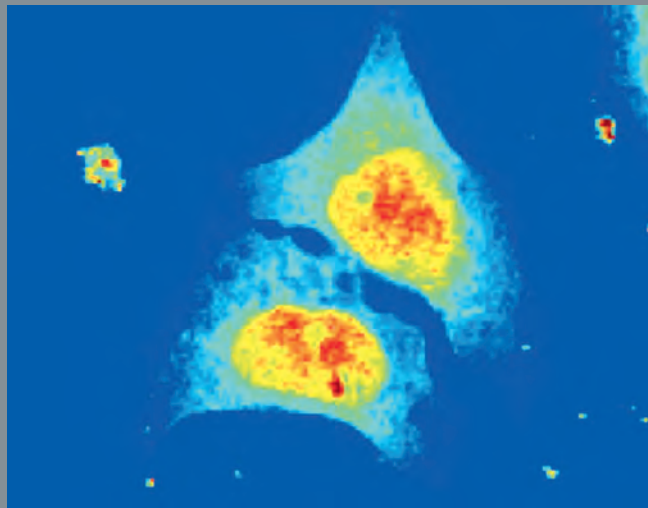
Forscher röntgen lebende Krebszellen

Göttinger Wissenschaftler haben an DESYs Forschungslichtquelle PETRA III erstmals lebende biologische Zellen mit hochenergetischer Röntgenstrahlung untersucht. Die neue Technik zeigt deutliche Unterschiede der inneren Zellstruktur im Vergleich zu bereits toten, chemisch fixierten Zellen, wie sie häufig analysiert werden. „Mit dem neuen Verfahren haben wir erstmals Gelegenheit, die innere Struktur lebender Zellen in ihrer natürlichen Umgebung mit harter Röntgenstrahlung zu erkunden“, betont Arbeitsgruppenleiterin Sarah Köster vom Institut für Röntgenphysik der Universität Göttingen.

Mit dem hellen Röntgenstrahl von PETRA III rasterten die Wissenschaftler sowohl lebende als auch chemisch fixierte Zellen ab, um Information über ihre innere Nanostruktur zu gewinnen. „Um die lebenden Zellen nicht zu schnell zu beschädigen, haben wir jede Aufnahme nur 0,05 Sekunden belichtet“, erläutert Michael Sprung von DESY. Ergebnis: Auf der Größenskala von 30 bis 50 Nanometern (millionstel Millimetern) kommt es durch die chemische Fixierung zu merklichen Unterschieden in der Zellstruktur.

„Durch die immer höheren Auflösungen der verschiedenen Untersuchungsmethoden wird es immer wichtiger zu wissen, ob sich die innere Struktur verändert, wenn wir die Proben präparieren“, erläutert Köster. Mit der neuen Untersuchungstechnik wird es künftig möglich, unveränderte lebende Zellen mit hoher Auflösung zu untersuchen.

Originalarbeit: Scanning X-ray Nano-Diffraction on Living Eukaryotic Cells in Microfluidic Environments; Physical Review Letters, 2014; DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.088102



Zellen im Röntgenlicht: In jedem Bildpunkt ist ein komplettes Röntgenstreubild zusammengefasst. Die Farbe gibt Auskunft darüber, wie stark die Röntgenstrahlung an der jeweiligen Stelle gestreut wird. Bild: Britta Weinhausen / Universität Göttingen

Messgerät für Röntgenlaserblitze

Forscher von DESY und dem US-Beschleunigerzentrum SLAC haben eine neue Methode entwickelt, um die ultrakurzen Blitze von Röntgenlasern mit bislang unerreichter Zeitauflösung zu vermessen. Mit der neuartigen Technik erreichten die Wissenschaftler am derzeit weltstärksten Röntgenlaser, der Linac Coherent Light Source (LCLS) des SLAC, eine Zeitauflösung von einer Femtosekunde, das ist eine millionstel milliardenstel Sekunde (0,000 000 000 000 001 Sekunden). Der bisherige Rekord bei der Analyse einzelner Röntgenpulse lag bei zehn Femtosekunden. Die Pulsanalyse verbessert die Auswertung der Messergebnisse von sogenannten Freie-Elektronen-Röntgenlasern (XFEL). Von diesen Anlagen erwarten Forscher neue, wegweisende wissenschaftliche Untersuchungsmöglichkeiten in verschiedenen Bereichen,

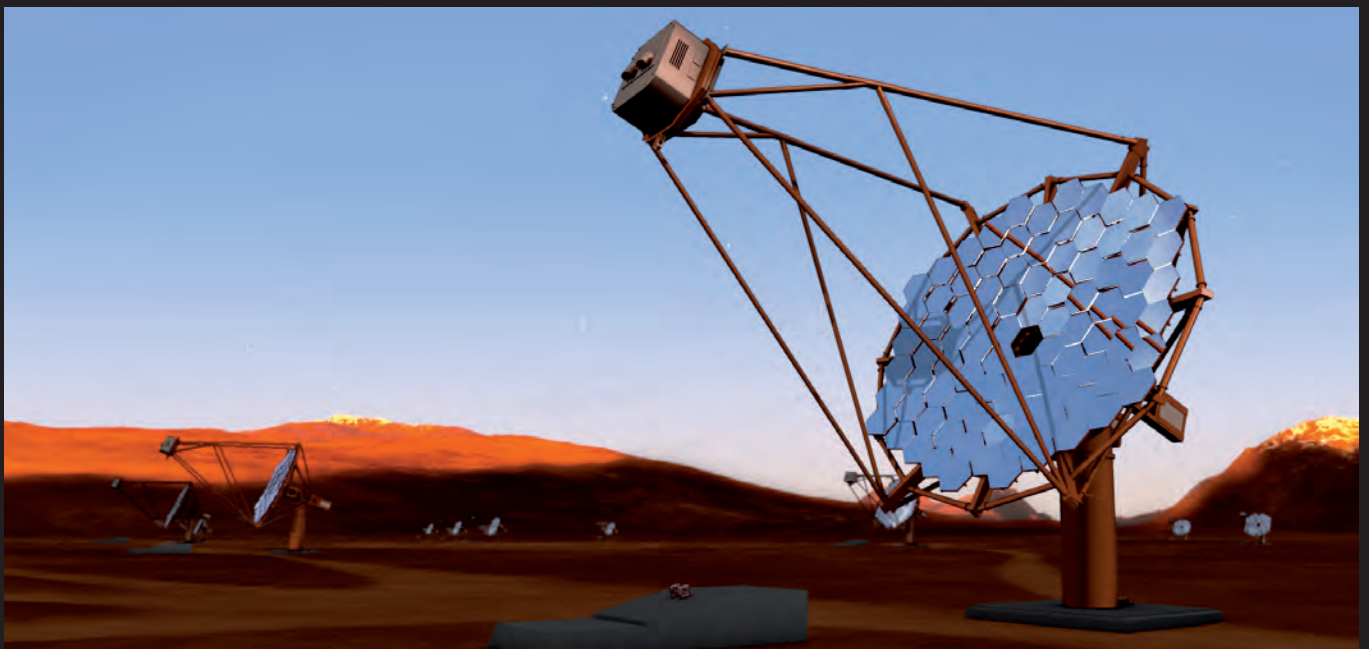
von der Abbildung einzelner Moleküle bis hin zum Filmen der Bewegung von Elektronen in Atomen. Denn die energiereichen, ultrakurzen XFEL-Pulse erlauben Einblicke in kleinste Dimensionen und ultraschnelle Prozesse. Allerdings ist die Interpretation solcher Messungen eine Herausforderung, denn die einzelnen Röntgenblitze eines XFEL variieren in Form und Länge. Der neue Pulsmonitor versorgt Forscher mit einer Präzisionsmessung jedes einzelnen Röntgenblitzes – eine entscheidende Information für die Analyse von Daten der LCLS oder anderer Freie-Elektronen-Laser wie DESYs FLASH oder dem in Norddeutschland im Bau befindlichen European XFEL.

Originalarbeit: Few-femtosecond time-resolved measurements of X-ray free-electron lasers; Nature Communications, 2014; DOI: 10.1038/ncomms4762

Standort für Gammateleskop CTA

Die Realisierung des internationalen Gammateleskops CTA (Cherenkov Telescope Array) rückt einen großen Schritt näher: Vertreter von zwölf Partnerländern beschlossen, dass Verhandlungen mit Chile und Namibia aufgenommen werden, um den auf der Südhalbkugel liegenden Standort für das CTA-Experiment festzulegen. Als dritte Möglichkeit wird ein Standort in Argentinien in Erwägung gezogen. „Die Festlegung des Standorts für CTA ist zeitkritisch für den zügigen Bau dieses internationalen Projekts“, sagt Christian Stegmann, Leiter des DESY-Standorts Zeuthen, an dem die DESY-Beteiligung beheimatet ist. „Die Entscheidung, jetzt

in konkrete Verhandlungen für den größeren Standort in der südlichen Hemisphäre einzutreten, bringt das CTA-Projekt einen großen Schritt voran.“ Das Cherenkov Telescope Array ist das nächste große Zukunftsprojekt der Astroteilchenphysik. Mit einem bis zu zehn Quadratkilometer großen Feld von bis zu 100 Spiegelteleskopen auf der Südhalbkugel und einem kleineren mit etwa 25 Teleskopen in der nördlichen Hemisphäre wollen die Wissenschaftler hochenergetische Gammastrahlung aus dem Weltall vermessen und so wertvolle Informationen über kosmische Teilchenbeschleuniger sammeln.

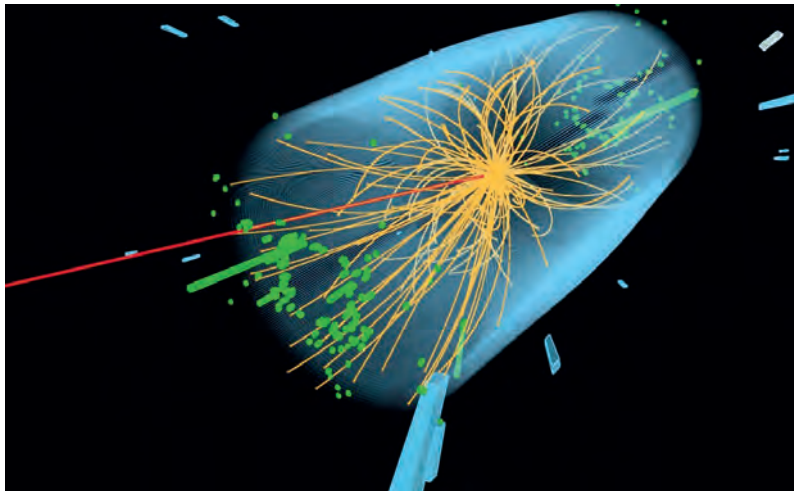


Visualisierung des Cherenkov Telescope Arrays. Bild: Milde Science Comm. / Exozet / DESY

Neues vom Higgs-Teilchen

Erstmals Zerfall in schwere Leptonen nachgewiesen

Das kürzlich entdeckte Higgs-Teilchen zerfällt manchmal in schwere Geschwister des Elektrons, sogenannte Tau-Leptonen. Das hat ein internationales Forscherteam mit dem Teilchendetektor CMS erstmals experimentell nachgewiesen. Die Beobachtung am weltgrößten Teilchenbeschleuniger LHC des europäischen Forschungszentrums CERN bei Genf bestätigt frühere Vorhersagen zu den Eigenschaften des Higgs-Teilchens. Im Jahr 2012 hatten die Forscher der LHC-Experimente ATLAS und CMS die Entdeckung eines neuen Elementarteilchens bekanntgegeben, des langgesuchten Higgs-Bosons.



Es kann erklären, wie Elementarteilchen zu ihrer Masse kommen. „Diese Entdeckung war ein großer Meilenstein für die Physik“, erklärt Rainer Mankel, Wissenschaftler der CMS-Gruppe bei DESY, „Wir führen aber unsere eingehenden Untersuchungen der Eigenschaften des Higgs-Teilchens fort, um herauszufinden, ob diese mit unseren theoretischen Erwartungen übereinstimmen.“

In ihrer aktuellen Studie haben die CMS-Forscher zum ersten Mal bestätigen können, dass das Higgs-Boson tatsächlich auch in Leptonen zerfällt. Tau-Leptonen sind Teilchen, die ähnliche Eigenschaften haben wie Elektronen, aber 3500 Mal schwerer sind. Die Untersuchung zum Zerfall des Higgs-Teilchens bestätigt nicht nur die Vorhersagen des Standardmodells der Teilchenphysik, sondern könnte auch auf neue Phänomene hinweisen, nach denen die Physiker am LHC fahnden.

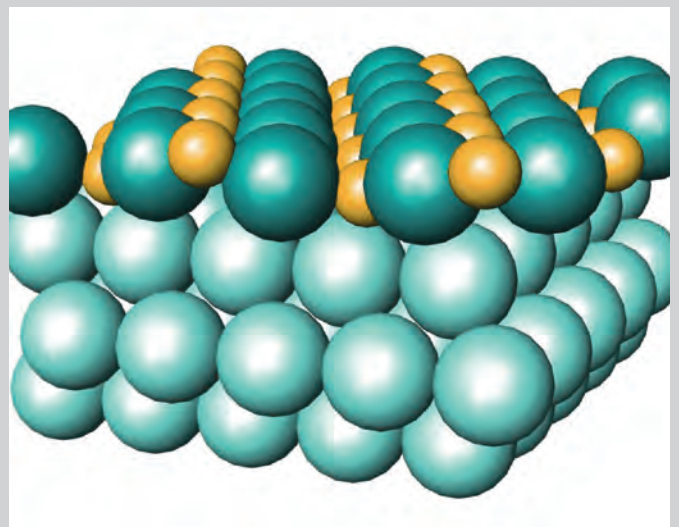
Originalarbeit: Evidence for the 125 GeV Higgs boson decaying to a pair of tau leptons, Journal of High Energy Physics, 2014; DOI: 10.1007/JHEP05(2014)104

Aufzeichnung eines Kollisionsereignisses im CMS-Detektor des LHC am CERN in Genf. Bild: CERN

Bessere Katalysatoren

Mit einer neuen Röntgentechnik hat ein schwedisch-deutsches Forscherteam einem Katalysator live bei der Arbeit zugesehen und die atomare Struktur seiner Oberfläche bestimmt. Die an DESYs Röntgenlichtquelle PETRA III entwickelte Technik soll die Konstruktion optimierter Materialien wie etwa besserer Katalysatoren auf der atomaren Ebene ermöglichen. Mit ihr lässt sich die atomare Struktur von Oberflächen deutlich schneller bestimmen als bisher, so dass Live-Aufnahmen von Oberflächenreaktionen wie Katalyse, Korrosion und Wachstumsprozessen mit einer Zeitauflösung von weniger als einer Sekunde möglich werden.

„Wir können damit Oberflächenprozesse verfolgen, die sich bislang nicht in Echtzeit beobachten ließen und die in vielen Bereichen der Materialforschung eine zentrale Rolle spielen“, erläutert DESY-Forscher Andreas Stierle. Das Team um Hauptautor Johan Gustafson von der Universität Lund präsentierte seine Arbeit im US-Fachjournal „Science“.



Schematische Darstellung der Palladiumoberfläche eines Katalysators. Bild: Johan Gustafson / Universität Lund, Schweden

Originalarbeit: High-Energy Surface X-Ray Diffraction for Fast Surface Structure Determination; Science, 2014; DOI: 10.1126/science.1246834

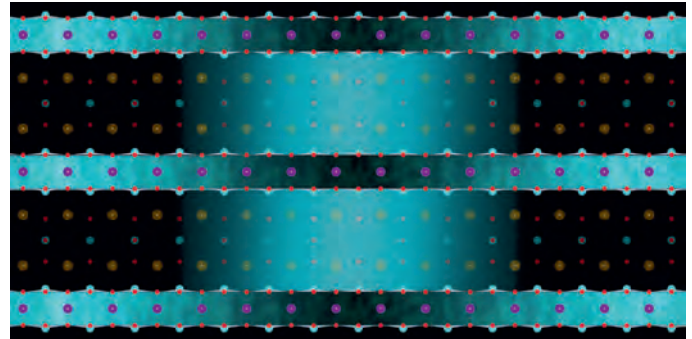
Supraleitung bei Raumtemperatur

Mit Hilfe intensiver Infrarotblitze haben Forscher vom Center for Free-Electron Laser Science (CFEL) einen gewöhnlichen Isolator bei Zimmertemperatur vorübergehend und teilweise in einen Supraleiter verwandelt. Supraleiter sind Stoffe, die elektrischen Strom völlig ohne Widerstand leiten. Üblicherweise müssen sie dazu jedoch sehr stark auf etwa minus 270 Grad Celsius gekühlt werden, was großen Aufwand bedeutet. Zwar haben Wissenschaftler vor rund 30 Jahren sogenannte Hochtemperatur-Supraleiter entdeckt, auch diese müssen jedoch auf mindestens minus 135 Grad gekühlt werden.

Die Forscher vom Max-Planck-Institut für Struktur und Dynamik der Materie am CFEL untersuchten nun ein keramisches Material aus der Gruppe der Kuprate, das sind Kupferverbindungen, von denen sich verschiedene bereits als Hochtemperatur-Supraleiter erwiesen haben. Für die Supraleitung tun sich die Elektronen in dem Material zu sogenannten Cooper-Paaren zusammen. Das untersuchte Kuprat mit der chemischen Summenformel $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,5}$ besitzt eine Doppelschichtstruktur. Unterhalb von minus 223 Grad können die Cooper-Paare widerstandslos von einer Doppelschicht zur nächsten springen, das Material wird supraleitend. Oberhalb dieser Sprungtemperatur können sich die Cooper-Paare nur innerhalb einer Doppelschicht frei bewegen.

Mit Infrarotblitzen der richtigen Wellenlänge ist es den Forschern nun gelungen, auch bei Zimmertemperatur den Weg für die Cooper-Paare frei zu machen – etwa 20 Prozent des Materials wurden kurzzeitig supraleitend, wie die Gruppe im Fachblatt „Nature Materials“ berichtet. „Unser Ziel ist, ein Material mit denselben Eigenschaften zu entwickeln, das keine Anregung mit Licht benötigt“, erläutert Hauptautor Wanzheng Hu aus der Gruppe von Andrea Cavalleri. „Ein echter Zimmertemperatur-Supraleiter.“

Originalarbeit: *Optically enhanced coherent transport in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,5}$ by ultrafast redistribution of interlayer coupling*; Nature Materials, 2014; DOI: 10.1038/NMAT3963



Der Infrarotblitz ebnet den Cooper-Paaren den Weg, um von einer Doppelschicht zur nächsten zu springen. Bild: Jörg Harms / MPSD

FEMTOMENAL

Warum man beim Laufen zunimmt

Sie joggen, um ein paar Pfunde zu verlieren? Dann hüten Sie sich vor Einsteins Relativitätstheorie – zumindest wenn Sie ein Elektron im Teilchenbeschleuniger von DESYs Freie-Elektronen-Laser FLASH sind. Nach Einstein macht Geschwindigkeit schwer und so wiegt ein Kilogramm Elektronen am Ende von FLASH rund 2,5 Tonnen. Dann

sind die Teilchen aber auch mit 99,999991644 Prozent der Lichtgeschwindigkeit unterwegs. Menschen sind langsamer – selbst Usain Bolt, der schnellste Mann der Welt. Der relativistische Massezuwachs machte bei seinem Berliner Weltrekord von 2009 nur ein Zehntel Nanogramm aus. Schon ein Schweißtropfen wiegt das Milliardenfache.



1 kg

in Ruhe

(für ein Kilo brauchen Sie aber eine Menge Elektronen)



1,059 kg

bei 30 keV oder

30 Prozent Lichtgeschwindigkeit (Fernsehröhre)



2447 kg

bei 1,25 GeV oder

99,999992 Prozent Lichtgeschwindigkeit (FLASH)



Geheimnisvolle Gasriesen

Röntgenlaser FLASH späht tief ins Innere von Gasplaneten

Sie hüllen sich in undurchdringliche Wolkenschichten: Die großen Gasplaneten unseres Sonnensystems verschleiern erfolgreich ihr Innenleben. Zwar wissen wir, dass die majestätischen Gasriesen Jupiter und Saturn größtenteils aus den beiden leichtesten chemischen Elementen Wasserstoff und Helium bestehen. Aber wie sieht es genau im Inneren solcher Planeten aus? Das Gas wird mit zunehmender Tiefe immer dichter, und der Großteil des Wasserstoffs muss sogar flüssig sein. Ob die Gasriesen tief im Inneren einen festen Kern haben, ist jedoch genauso unsicher wie der genaue Aufbau ihrer Hülle. Laboruntersuchungen können helfen, die Planetenmodelle zu verbessern.

Vier Gasriesen umrunden unsere Sonne:
Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun.
Unsere Erde hingegen hat genauso wie Merkur,
Venus und Mars eine feste Gesteinskruste.
Montage: NASA / JPL

Mit DESYs Röntgenlaser FLASH haben Forscher in große Gasplaneten quasi hineingespäht. Die Beobachtung des Teams um Ulf Zastra von der Universität Jena zeigt in einer Art Superzeitlupe, wie flüssiger Wasserstoff zu Plasma wird, und gibt damit Aufschluss über dessen Wärmeleitfähigkeit und inneren Energieaustausch. Für die Modelle, mit denen sich die Wissenschaft ein Bild vom inneren Aufbau der Planeten macht, sind diese Eigenschaften von großer Bedeutung.

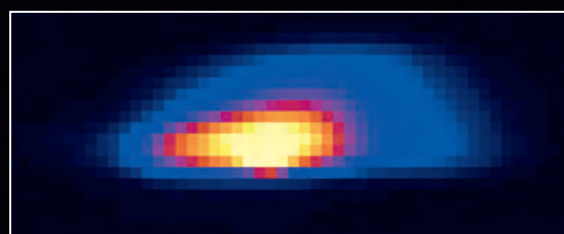
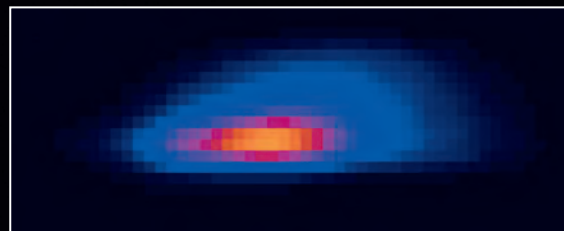
Die Atmosphäre von Gasplaneten besteht zum großen Teil aus Wasserstoff, dem häufigsten chemischen Element im Universum. „Man weiß experimentell kaum etwas über den Wasserstoff im Inneren solcher Planeten“, sagt Zastra. „Auch wenn die theoretischen Modelle schon sehr gut sind.“ Für ihre Untersuchungen haben die Forscher daher kalten, flüssigen Wasserstoff als eine Art Probe aus der Planetenatmosphäre benutzt. „Flüssiger Wasserstoff hat eine Dichte, wie sie den unteren Atmosphärenschichten großer Gasplaneten entspricht“, erläutert Zastra. Mit DESYs Röntgenlaser FLASH haben die Wissenschaftler den flüssigen Wasserstoff auf einen Schlag von minus 253 Grad Celsius auf rund 12 000 Grad Celsius erhitzt und gleichzeitig die Eigenschaften des Elements während des Erhitzens beobachtet.

Wasserstoff ist das einfachste Atom des Periodensystems, es besteht aus einem Proton im Atomkern, das von einem einzelnen Elektron umkreist wird. Normalerweise kommt Wasserstoff als hantelförmiges Molekül aus zwei Atomen vor. Durch den Röntgenlaserblitz werden zunächst nur die Elektronen erhitzt, die nach und nach ihre Energie an die etwa 2000-mal schwereren Protonen abgeben, bis sich

ein thermisches Gleichgewicht einstellt. Die Molekülbindungen brechen dabei auf, es entsteht ein sogenanntes Plasma aus Elektronen und Protonen. Obwohl dazu viele tausend Stöße zwischen Elektronen und Protonen nötig sind, stellt sich das thermische Gleichgewicht bereits nach knapp einer billionstel Sekunde (Pikosekunde) ein, wie die Untersuchungen zeigen.

Der Kosmos im Labor

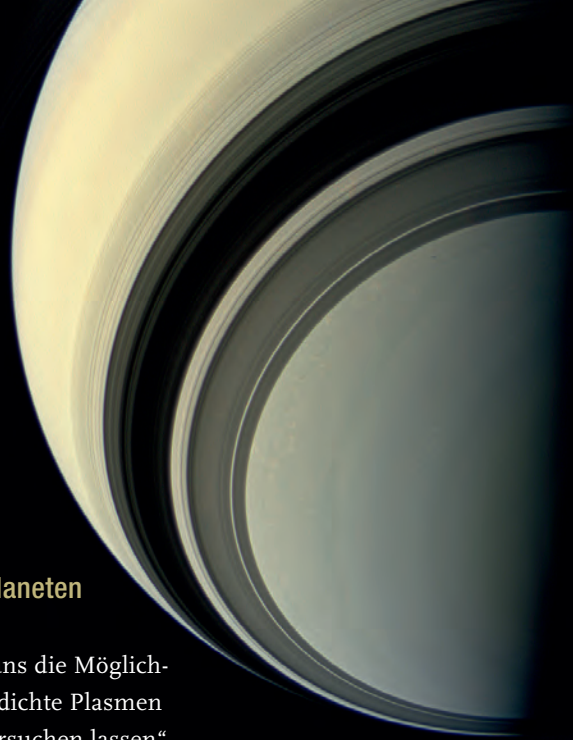
„Was wir machen, ist Labor-Astrophysik“, erklärt Zastra. Bislang stützen sich Forscher auf Rechenmodelle, wenn sie das Innere von Gasplaneten wie Jupiter beschreiben. Wichtige Parameter sind dabei die sogenannten dielektrischen Eigenschaften des Wasserstoffs, das sind unter anderem die Wärme- und die elektrische Leitfähigkeit, denn in den großen Gasplaneten findet ein starker Wärmetransport von innen nach außen statt.



Streubilder von Wasserstoff im flüssigen, ungeheizten Zustand (oben) und zwei Pikosekunden (billionstel Sekunden) nach dem Aufheizen per Laserblitz.
Bilder: Ulf Zastra / Uni Jena

Der Gasplanet Saturn, aufgenommen von der europäisch-amerikanischen Raumsonde „Cassini-Huygens“.

Bild: NASA / JPL / Space Science Institute



„Die Untersuchung verrät uns die dielektrischen Eigenschaften des flüssigen Wasserstoffs“, berichtet Ko-Autor Philipp Sperling von der Universität Rostock. „Wenn man weiß, welche thermische und elektrische Leitfähigkeit die einzelnen Wasserstoffschichten in der Atmosphäre eines Gasplaneten haben, lässt sich daraus das zugehörige Temperaturprofil berechnen.“ Mit ihren Versuchen haben die Forscher zunächst einen Punkt im sogenannten Phasendiagramm von Wasserstoff festgelegt. Um ein detailliertes Bild der gesamten Planetenatmosphäre zu erstellen, müssen diese Versuche bei anderen Drücken und Temperaturen wiederholt werden.

Wir wissen experimentell kaum etwas über den Wasserstoff im Inneren von Gasplaneten

Zoom ins Innere der Planeten

„Unser Experiment hat uns die Möglichkeiten gezeigt, wie sich dichte Plasmen mit Röntgenlasern untersuchen lassen“, betont Ko-Autor Thomas Tschentscher, wissenschaftlicher Direktor am Röntgenlaser European XFEL, an dem 2017 erste Experimente möglich sein werden. „Diese Methode öffnet den Weg für weitere Untersuchungen, beispielsweise an dichteren Plasmen schwererer Elemente und Gemische, wie sie im Inneren von Planeten vorkommen. Von den Ergebnissen erhoffen wir uns unter anderem eine experimentell begründete Antwort auf die Frage, warum die bisher außerhalb unseres Sonnensystems entdeckten Planeten nicht in allen denkbaren Kombinationen von Eigenschaften wie Alter, Masse, Größe oder Elementzusammensetzung auftreten, sondern bestimmten Gruppen zugeordnet werden können.“

An der Studie waren außer den Universitäten Jena und Rostock sowie DESY und European XFEL auch Forscher von den US-Forschungszentren SLAC National Accelerator Laboratory und Lawrence Livermore National Laboratory, dem Helmholtz-Institut Jena, der Universität Oxford, dem GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, dem Hamburg Centre for Ultrafast Imaging (GUI) und der Universität Münster beteiligt.

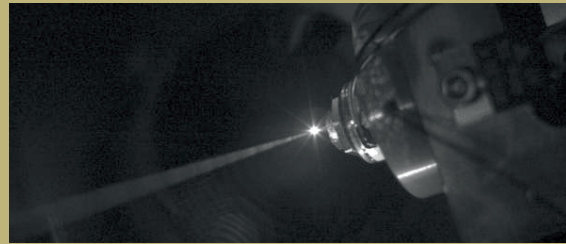
Originalarbeit: Resolving ultra-fast heating of dense cryogenic hydrogen; Physical Review Letters, 2014; DOI: 10.1103/PhysRevLett.112.105002

Wasserstoff im Ausnahmezustand

Die Untersuchung erforderte großen Aufwand, nicht zuletzt, weil Wasserstoff normalerweise auf der Erde nicht in flüssiger Form vorkommt. Um Wasserstoffgas zu verflüssigen, muss es auf etwa 20 Grad über dem absoluten Nullpunkt der Temperatur, also auf minus 253 Grad Celsius heruntergekühlt werden. „Wir nehmen extrem reinen Wasserstoff aus einer handelsüblichen Gasflasche und pressen ihn durch einen Kupferblock, der von flüssigem Helium gekühlt wird“, beschreibt DESY-Forscher Sven Toleikis aus dem Team.

In dem Kupferblock wird der Wasserstoff tiefgekühlt, wobei er kondensiert. „Dabei muss die Temperatur sehr genau kontrolliert werden. Wird der Wasserstoff zu kalt, gefriert er und verstopft die Leitung“, sagt Toleikis. Mit einer kleinen Heizung wird der Wasserstoff daher bei Bedarf wieder verflüssigt. Am Ende des Kupferblocks ragt eine Düse wie ein Finger in die Vakuum-Experimentierkammer. Aus ihrer Spitze fließt ein feiner Wasserstoffstrahl, der nur einen fünfzigstel Millimeter (20 Mikrometer) Durchmesser hat. Dieser Aufbau ist in jahrelanger Zusammenarbeit der Universität Rostock mit DESY entstanden.

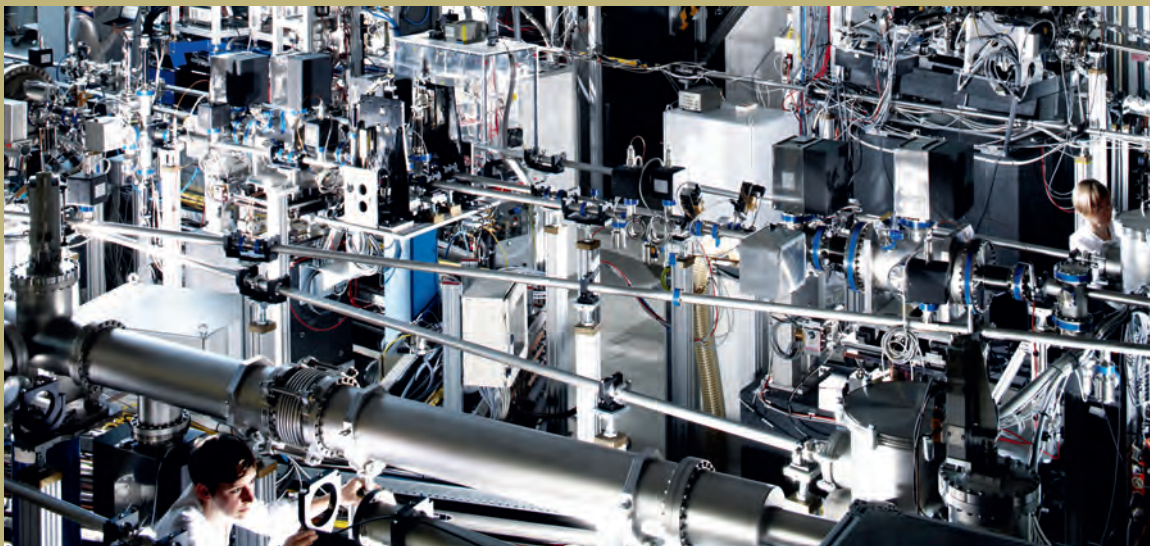
Um die Eigenschaften des flüssigen Wasserstoffs beim Verdampfen zu untersuchen, beschossen die Forscher den feinen Strahl mit weicher Röntgenstrahlung aus DESYs Freie-Elektronen-Laser FLASH. „Für die Untersuchung haben wir die einzigartige Möglichkeit von FLASH benutzt, die einzelnen Blitze aufzuteilen“, erläutert Toleikis. „Die erste Hälfte des Blitzes heizt den Wasserstoff auf, mit der zweiten Hälfte lassen sich



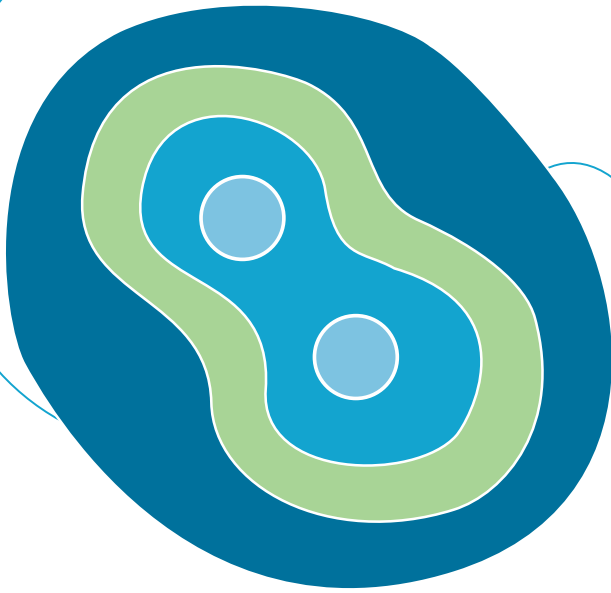
Wasserstoffstrahl in der Experimentierkammer. Bild: Sven Toleikis / DESY

dann seine Eigenschaften untersuchen.“ Mit der sogenannten Split-and-Delay-Einheit, die in Zusammenarbeit mit der Universität Münster und dem Helmholtz-Zentrum Berlin entstanden ist, wird die zweite Hälfte des Blitzes gezielt um winzige Sekundenbruchteile (bis zu 15 billionstel Sekunden) verzögert. Untersucht man das System auf diese Weise zu leicht unterschiedlichen Zeiten, lässt sich in einer Art Superzeitlupe beobachten, wie sich ein thermisches Gleichgewicht zwischen den Elektronen und den Protonen im Wasserstoff einstellt.

Die Interpretation der Beobachtungsdaten war allerdings nicht einfach. „Wir haben lange nicht genau verstanden, was im Experiment passiert“, sagt der Rostocker Arbeitsgruppenleiter Ronald Redmer. Die Forscher bedienen sich zur Modellierung des Prozesses der sogenannten Dichtefunktionaltheorie, eines Standardwerkzeugs der Quantenphysik, um Systeme mit vielen Elektronen korrekt zu beschreiben. Dieses Standardverfahren funktioniert jedoch nicht für Systeme mit zwei unterschiedlichen Temperaturen wie im FLASH-Experiment. „Erst nachdem wir die Dichtefunktionaltheorie durch ein Zwei-Temperaturen-Modell erweitert haben, ließ sich die Beobachtung richtig beschreiben“, berichtet Redmer.



Die FLASH-Experimentierhalle. Bild: Heiner Müller-Elsner / DESY



Teilchen aus zwei Quarks heißen Mesonen



Die Atomkernbausteine Proton und Neutron sind aus drei Quarks aufgebaut

Tetraquarks

Forscher spüren
Teilchen-Viererbanden auf

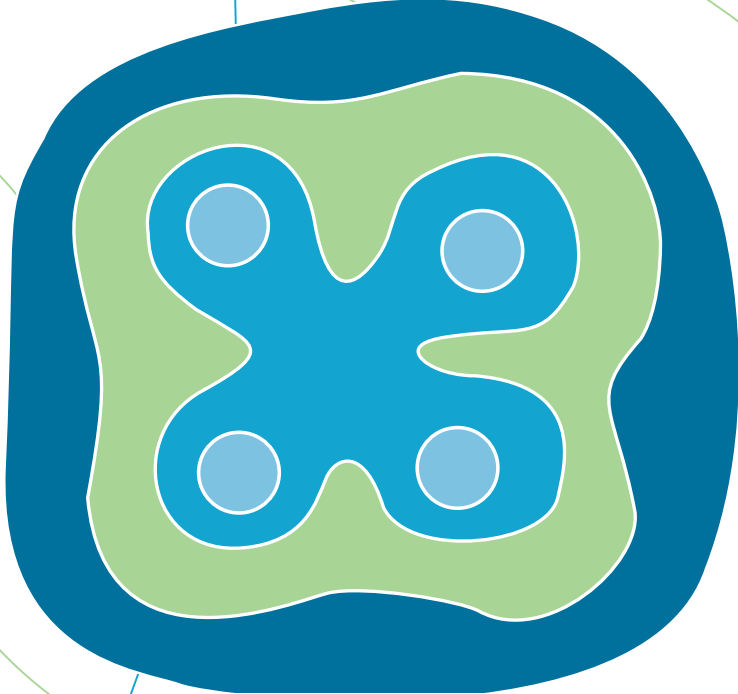
Teilchen, die sich aus vier Quarks zusammensetzen – bislang waren sie zwar theoretisch denkbar, aber den Physikern noch nicht ins Netz gegangen. Doch nun verdichten sich die Hinweise, dass es solche exotischen Viererbanden tatsächlich gibt. An den Experimenten sind auch Wissenschaftler von DESY beteiligt.

Atome besitzen einen Kern. Er besteht aus Protonen und Neutronen. Diese wiederum sind aus noch kleineren Bausteinen aufgebaut – den Quarks. Nach heutigem Kenntnisstand sind Quarks nicht weiter teilbar und zählen damit zu den Urbausteinen der Materie. Allerdings zeigen die Winzlinge eine ungewöhnliche Eigenschaft: Sie kommen nie alleine vor, sondern immer nur im Paket. Protonen und Neutronen etwa bestehen aus je drei Quarks. Und schon lange kennt man Mesonen – Teilchen, die aus zwei Quarks zusammengesetzt sind.

Aber: „Unser Standardmodell der Teilchenphysik erlaubt im Prinzip auch Teilchen, die aus vier Quarks bestehen“, sagt DESY-Theoretiker Ahmed Ali. „Leider verrät es nicht, ob diese Exoten lange

genug leben, um sie in Experimenten beobachten zu können.“ Bei solchen Versuchen schießen die Physiker bekannte Winzlinge aufeinander, beispielweise Elektronen. Der Zusammenprall ist so wuchtig, dass dabei deutlich schwerere Teilchen entstehen können – darunter auch welche, die sich aus Quarks zusammensetzen.

Meist sind diese neu entstandenen Exoten so kurzlebig, dass sie fast umgehend wieder zerplatzen. Ihre Bruchstücke fliegen dann durch einen Detektor und werden von diesem genau vermessen. Dadurch können die Physiker rekonstruieren, welche Exoten ursprünglich bei den Kollisionen entstanden waren. „In den letzten Jahren haben wir immer mehr Teilchen entdeckt, die offenbar aus vier Quarks

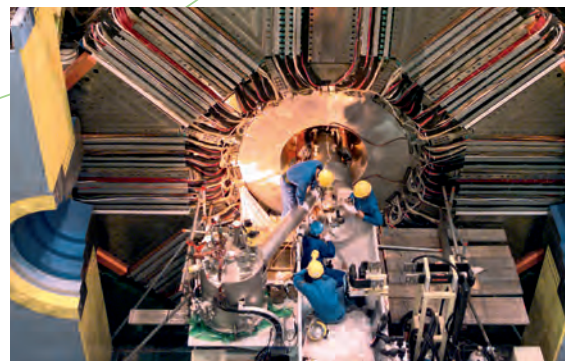


Tetraquarks, Teilchen aus vier Quarks, sind neu im Teilchenzoo

bestehen“, sagt Torben Ferber. Der DESY-Physiker ist am japanischen Belle-Experiment beteiligt, einem Detektor, der bis 2010 Daten lieferte, derzeit grundlegend aufgerüstet wird und künftig Belle II heißen wird. Erste Indizien für einen der Vierlinge konnte Belle zwar schon 2007 aufspüren. Doch die Bestätigung kam erst kürzlich durch den LHCb-Detektor am Superbeschleuniger LHC am CERN in Genf. Ein anderer Kandidat wurde jüngst parallel von Belle und einem chinesischen Experiment entdeckt.

Besonders interessant erscheinen jene Teilchen, die eine elektrische Ladung tragen. „Das ist etwas Besonderes“, meint Ferber. „Denn bei diesen Exoten kann es sich nicht um bereits bekannte Teilchen bestehend aus einem Quark und einem Antiquark handeln, die lediglich energetisch angeregt sind.“ Nun sehen die Experten zwei Möglichkeiten, was hinter den neuen Teilchen stecken kann. „Entweder tun sich zwei Mesonen kurzzeitig zu einem Molekül zusammen“, sagt Ahmed Ali. „Oder es agieren vier Quarks miteinander und bilden ein Tetraquark.“

Für die Existenz einer derartigen Viererbande spricht zwar einiges. Doch endgültigen Aufschluss können nur weitere Experimente bringen. „2016 soll Belle II an den Start gehen und deutlich mehr Messdaten als sein Vorgänger liefern“, erläutert Ferber. „Dann werden wir hoffentlich ein konsistentes Schema hinter den Tetraquark-Kandidaten finden.“

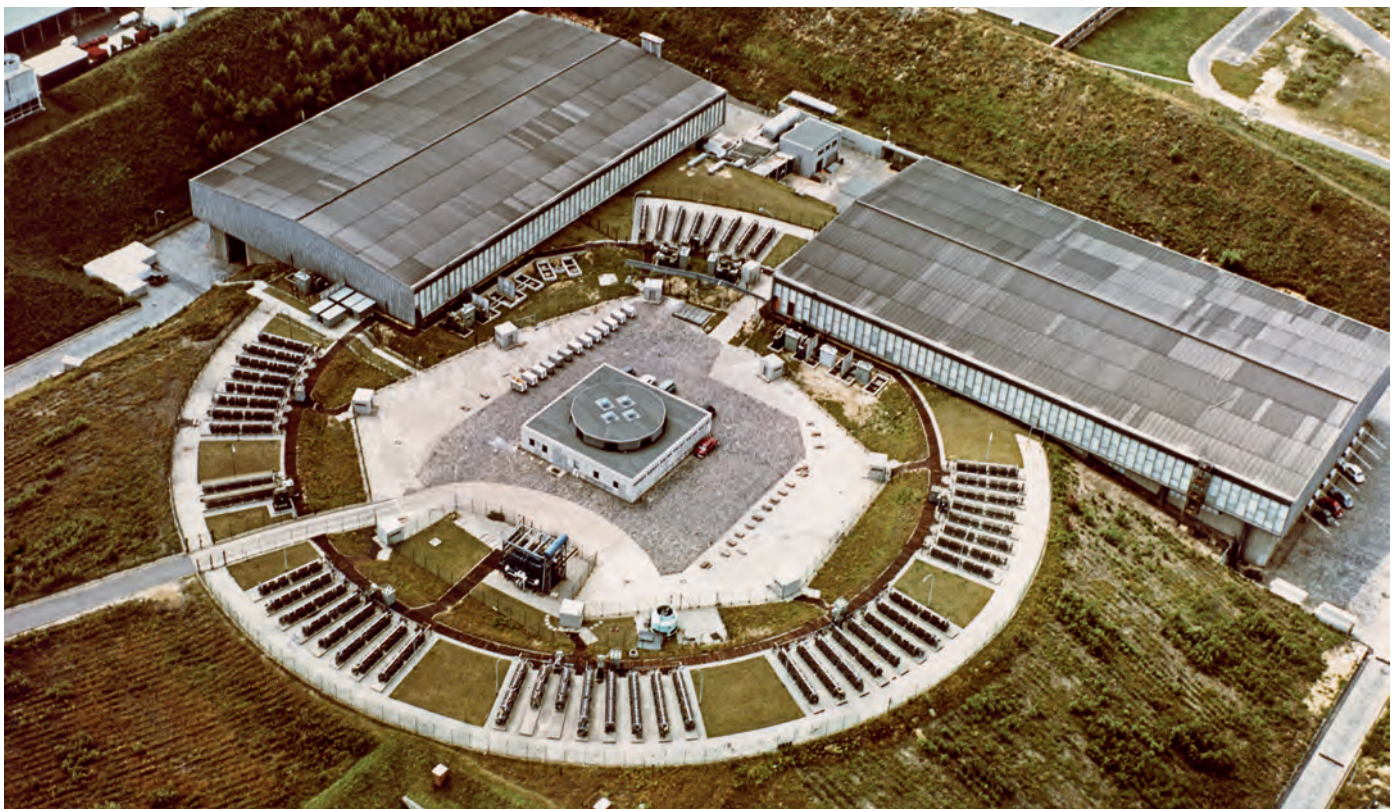


Der japanische Belle-Detektor. Bild: KEK

Und die Hoffnungen gehen sogar noch weiter. „Im Prinzip erlaubt das Standardmodell auch Teilchen, die aus fünf oder sechs Quarks bestehen“, erläutert Ahmend Ali. „Wir bezeichnen sie als Penta- bzw. Hexaquarks.“ Bereits vor zehn Jahren hatten mehrere Forschergruppen mögliche Hinweise auf ein Pentaquark registriert. Doch in weiteren Experimenten ließen sich diese nicht erhärten. Dennoch: Auch künftig werden die Physiker in ihren Messdaten auch nach den Fünf- und Sechslingen Ausschau halten.

Originalarbeiten: [Observation of a Charged Charmoniumlike Structure in \$e+e^- \rightarrow \pi+\pi-J/\psi\$ at \$\sqrt{s}=4.26\$ GeV; Physical Review Letters, 2013; DOI: 10.1103/PhysRev-Lett.110.252001](#)

[Study of \$e+e^- \rightarrow \pi+\pi-J/\psi\$ and Observation of a Charged Charmoniumlike State at Belle; Physical Review Letters, 2013; DOI: 10.1103/PhysRev-Lett.110.252002](#)



Vor 50 Jahren zogen zum ersten Mal Elektronen ihre Kreise im damals neuen „Deutschen Elektronen-Synchrotron“. Bild: DESY

Detektor-Neuland

DESYs ältester Beschleuniger hat großes Zukunftspotenzial

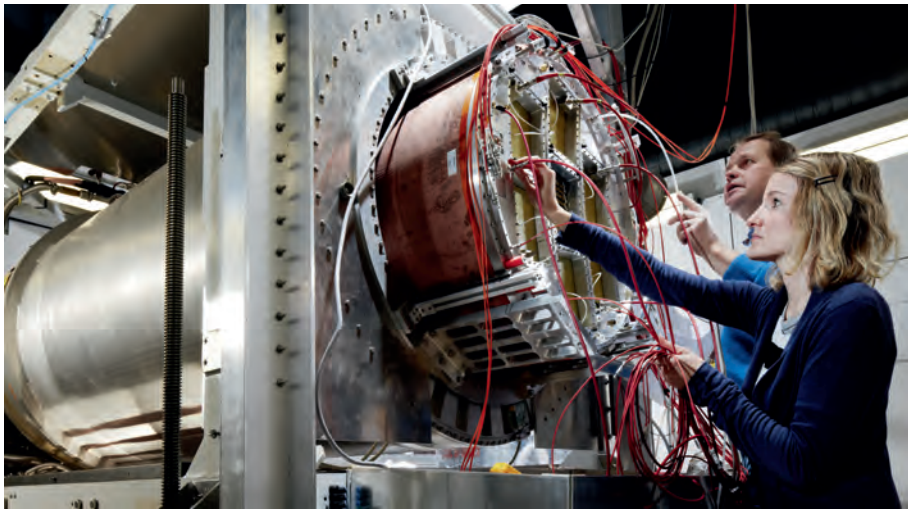
Die Sicherheitsschleuse ist passiert, Marcel Stanitzki kann den Tunnelring aus meterdicken Betonwänden betreten. Er steuert ein unscheinbares Guckglas an, das aus einer Edelstahlröhre ragt. „Schaut man genau hin, erkennt man im Inneren eine kleine Gabel“, beschreibt der DESY-Physiker. „In diese Gabel spannen wir haarfeine Carbonfasern ein.“

Die fragile Konstruktion ist Ausgangspunkt einer eher unbekannteren Forschungsanlage bei DESY – dem Teststrahl. Er dient der Erprobung neuer Detektorkomponenten hauptsächlich für die Teilchenphysik und ist für viele Experten unverzichtbar. Erzeugt wird er an DESYs ältestem Beschleuniger – dem „Deutschen Elektronen-Synchrotron“, das dem Labor einst seinen Namen gab. Vor einem halben Jahrhundert, am 25. Februar 1964, hatten die Physiker erstmals Elektronen durch die 300 Meter lange, ringförmige Edelstahlröhre geschickt und dabei fast auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Das Experimentierprogramm am Synchrotron war zwar 1978 beendet, dennoch lief das Synchrotron weiter und diente fortan – mehrfach umgebaut und

modernisiert – als Vorbeschleuniger. „Nach wie vor ist es eine extrem gute, sehr zuverlässige Maschine“, sagt DESY-Physikerin Ingrid-Maria Gregor. „Und das ist für unseren Teststrahl überaus vorteilhaft.“

Getestet werden neue Komponenten für Teilchendetektoren. Diese registrieren in Beschleunigerexperimenten die Kollisionen der schnellen Teilchen. Indem die Physiker anschließend diese Zusammenstöße analysieren, können sie herausfinden, ob neue, exotische Elementarteilchen entstanden sind, etwa das berühmte Higgs. Die Herausforderungen an die Detektoren sind enorm: Bei den Kollisionen entstehen Dutzende neuer Teilchen, deren Spuren es möglichst genau zu vermessen gilt.

Um neue Detektor-Prototypen auf Herz und Nieren zu testen, bringen sie Experten aus aller Welt nach Hamburg. „Auf diese Prototypen schießen wir in unserem Teststand Elektronen oder Positronen“, erklärt Gregor. „Dadurch lässt sich herausfinden, ob ein Detektor wie erwartet funktioniert.“ Der Clou: Die Elektronen des Teststrahls haben präzise



Messungen am Prototypen einer Spurenkammer mit dem DESY-Teststrahl. Der Magnet wurde aus Japan importiert, der Feldkäfig in Deutschland gebaut, die verschiedenen Auslesemodule kommen aus der ganzen Welt.
Bild: Heiner Müller-Elsner / DESY

definierte Eigenschaften. Dadurch wissen die Experten genau, wie ihr Detektor auf das Teilchen „antworten“ muss.

Die Produktion des Teststrahls ist raffiniert und geht von jenen haarfeinen Carbonfasern aus, die sich im Guckglas des Beschleunigers erkennen lassen. „Trifft der schnelle Elektronenstrahl vom Synchrotron auf diese Faser, entstehen hochenergetische Photonen, also Lichtteilchen“, erklärt Marcel Stanitzki, der Koordinator der Testanlage. „Diese Photonen treffen dann auf kleine Metallplättchen“. Dort werden sie in Elektronen und Positronen umgewandelt. Diese frisch geborenen Teilchen sausen in einen wuchtigen grünen Magneten. Er dient als eine Art Filter, der ausschließlich Teilchen einer gewünschten Energie passieren lässt. Warum dieser Umweg, weshalb verwendet man nicht gleich die vom Synchrotron beschleunigten Elektronen? „Zum einen würde man den Vorbeschleunigerbetrieb zu stark stören“, antwortet Stanitzki. „Zum anderen können wir dadurch die Energie sowie die Teilchenrate der Elektronen frei einstellen und für die Tests maßschneidern.“ Nach ihrer Erzeugung fliegen die Teilchen durch Röhren in der meterdicken Tunnelwand zu einem der drei Messstände in der DESY-Experimentierhalle. Dort haben die Physiker einige einzigartige Messapparaturen entwickelt und aufgestellt – zum Beispiel die sogenannten Pixel-Teleskope. „Damit lässt sich bis auf wenige Mikrometer genau sagen, wo ein Teilchen den Detektor durchschlagen hat“, sagt Gregor. „Eine wichtige Voraussetzung, um später die Teilchenspuren präzise rekonstruieren zu können.“ Mittlerweile haben die DESY-Experten sechs dieser Pixel-Teleskope gebaut, die Hälfte für andere Forschungsinstitute wie das CERN in Genf.

Eine Besonderheit ist auch ein großer, tonnenförmiger Magnet, der Solenoid. „Solche Magneten finden sich heute in den meisten Teilchendetektoren“, sagt Stanitzki. „Sie haben die Aufgabe, die Teilchenbahnen zu krümmen, was dann die Bestimmung des Impulses erlaubt.“ Jene Detektorkomponenten, die in den Magneten eingebaut sind, lassen sich im Solenoid unter

realistischen Bedingungen testen. „Eine einzigartige Einrichtung“, betont Stanitzki. „Das gibt es nur hier.“

Entsprechend gefragt ist der Teststand: Allein im Jahr 2013 kamen rund 400 Fachleute nach Hamburg, um im 24-Stunden-Schichtbetrieb neue Detektorkomponenten zu erproben, insbesondere für den größten Beschleuniger der Welt, den LHC in Genf. Andere Experten testen Prototypen für den geplanten International Linear Collider (ILC) und diverse weitere Anlagen, etwa in Darmstadt, Japan und den USA. Auch Detektoren, die eines Tages in der Medizin zum Einsatz kommen könnten, sowie Komponenten für das internationale Fusionsexperiment ITER wurden schon bei DESY geprüft. „Der Bedarf ist groß“, betont Gregor. „Wir werden den Teststand noch mindestens 20 Jahre lang brauchen.“ Will heißen: Auch in Zukunft wird der DESY-Veteran eine wichtige Rolle im Hamburger Beschleuniger-Ensemble spielen.

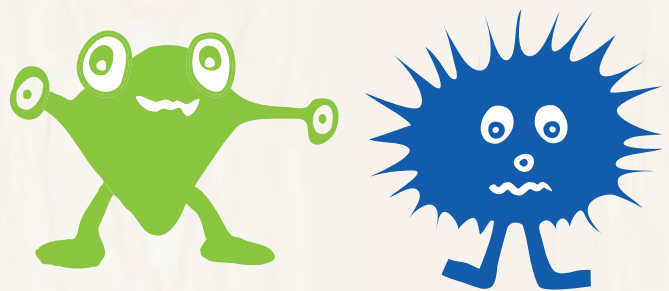
Beschleuniger-Upcycling

„Upcycling“ ist eigentlich ein Trend der neuen Zeit, der dafür sorgt, dass hochwertige Designerstücke aus Recyclingmaterialien in unsere Kleiderschränke und Wohnlandschaften einziehen. DESY verfolgte dieses Prinzip schon lange bevor in den 1990er Jahren der passende Begriff dafür kreiert wurde. Teilchenbeschleuniger, deren Potenzial für die Teilchenphysik ausgeschöpft war, wurden nach ihrem „ersten Leben“ als Vorbeschleuniger für jeweils neuere, größere Teilchenrennbahnen genutzt oder bekamen, mit moderner Hightech zur Lichterzeugung ausgerüstet, ein „zweites Leben“ als brillante Röntgenquelle. Dass selbst der dienstälteste DESY-Beschleuniger heute wieder Nutzer aus aller Welt nach Hamburg lockt, zeigt, wie zukunftsfähig Beschleuniger-Upcycling ist.



Welches Teilchen passt zu Ihnen?

Im „Teilchenzoo“ werden aus elementaren Teilchen echte Persönlichkeiten



Sind Sie ein Optimist, lieben die Geselligkeit und lassen sich leicht ablenken? Dann ist Ihr Pendant in der Welt der Elementarteilchen vielleicht ein Up-Quark. Oder sind Sie eher ein labiler Typ und neigen zu pessimistischer Weltsicht? Dann könnte das Myon etwas für Sie sein. Traumtänzern hingegen seien die Wimps ans Herz gelegt, nach denen gerade fieberhaft gefahndet wird ...



Neugierig geworden? Genau das ist der Ansatz von DESYs Teilchenzoo. Gemeinsam mit dem Science Center Universum in Bremen hat DESY die Erkenntnisse der Teilchenphysik anschaulich gemacht und den Bausteinen unserer Welt ein Gesicht gegeben. Im Teilchenzoo kommen die elementaren Teilchen als kleine bunte Monster daher, die noch dazu echte Persönlichkeiten sind:
<http://teilchenzoo.desy.de/teilchomat>.

Der Teilchen-Persönlichkeitstest lädt die Besucherinnen und Besucher auf etwas andere Art dazu ein, den ansonsten sehr abstrakten Teilchen näher zu kommen und mehr über ihr individuelles Lieblingsteilchen zu erfahren. „Hinter

den komplizierten Formeln der Teilchenphysik verbergen sich spannende Erkenntnisse, die wir auch denjenigen vermitteln wollen, die sich eigentlich gar nicht für Physik interessieren“, erläutert DESY-Direktor Helmut Dosch. „Indem wir die Teilchen lebendig werden lassen, wollen wir einen anschaulichen Zugang zu unserer Forschung schaffen, der auch junge Menschen anspricht und für die Physik begeistert.“

Hinter dem spielerischen Ansatz des Persönlichkeitstests stecken physikalische Fakten, die quasi nebenbei gleich mit vermittelt werden. Wer sich beispielsweise als Up-Quark geoutet hat, bekommt nicht nur ein sympathisches froschgrünes

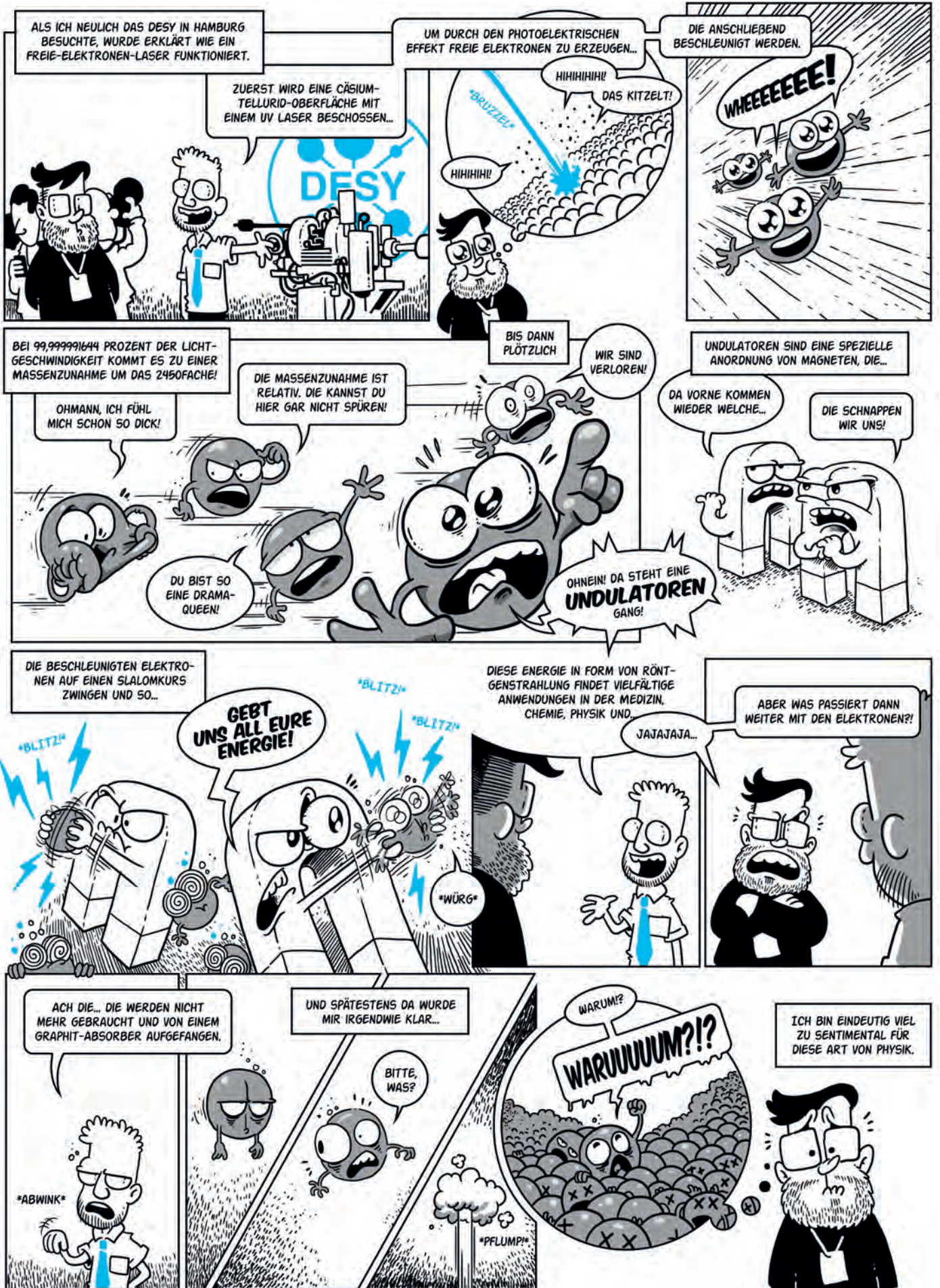
Teilchenmonster an die Seite gestellt, sondern auch folgende Hintergrundinformation: „Das Up-Quark ist eines von sechs Quark-Sorten. Es ist ein Leichtgewicht. Up-Quarks sind elektrisch positiv geladen. (Man könnte sie daher als optimistisch beschreiben.) Gemeinsam ist allen sechs Quark-Sorten, dass sie niemals alleine vorkommen: Quarks sind Gruppenwesen. Sie setzen sich immer in Zweier- oder Dreiergruppen zu anderen Teilchen zusammen. Das Up-Quark zählt zu den ersten drei Quark-Sorten, die 1969 experimentell nachgewiesen wurden. Der Name „Quark“ geht auf eine Passage aus einem Roman von James Joyce zurück.“ Wer mehr wissen will, der findet in dem Steckbrief, den es zu jedem Teilchen gibt, jede Menge Spannendes

und Wissenswertes in leicht verständlicher Form – unter anderem, warum die Elementarteilchen trotz ihrer unvorstellbar kleinen Dimensionen großen Einfluss auf unseren Alltag haben. Die Spuren von Quarks und Co. führen außerdem zu bedeutenden Fragen der Menschheit: Was geschah beim Urknall? Woher kommen Materie, Raum und Zeit? Und was hält die Welt im Innersten zusammen?

Einen unterhaltsamen Einstieg in die Welt der kleinsten Teilchen bieten auch sieben Kurzfilme, für die Fernsehmoderator Delf Deicke verschiedenen DESY-Physikerinnen und -Physikern auf den Zahn gefühlt hat. Die Welt der Teilchenphysik bequem für das Puschenkino: <http://teilchenzoo.desy.de/videos>.



Der Teilchenzoo als virtuelle Ausstellung:
<http://teilchenzoo.desy.de>



Impressum

femto wird herausgegeben vom
Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY,
einem Forschungszentrum der Helmholtz-Gemeinschaft

Redaktionsanschrift

Notkestraße 85, D-22607 Hamburg
Tel.: +49 40 8998-3613, Fax: +49 40 8998-4307
E-Mail: desypr@desy.de
Internet: www.desy.de/femto

Redaktion

Till Mundzeck, Ute Wilhelmssen

An dieser Ausgabe haben mitgewirkt

Ilka Flegel
Frank Grotelüschen
Dirk Rathje
Thomas Zoufal

Gestaltung und Produktion

Monika Illenseer

Druck und Bildbearbeitung

reset, Hamburg

Bildbearbeitung Cover

VB:34, Hamburg

Redaktionsschluss

Juni 2014

Nachdruck, auch auszugsweise, unter Nennung
der Quelle gerne gestattet.

femto

Das DESY-Forschungsmagazin

Abonnieren Sie femto
kostenlos!

www.desy.de/femto oder 040 8998-3613



Titelbild Computerdarstellung eines Grippevirus: Seine Hülle ist gespickt mit speziellen Proteinen, die eine Wirtszelle erkennen und daran andocken können. Virusproteine sind aussichtsreiche Angriffspunkte für medizinische Wirkstoffe, mit denen sich Infektionen frühzeitig bekämpfen lassen. Mit Hilfe der Strukturbioogie lässt sich der Aufbau solcher Proteine atomgenau entschlüsseln. Das ist die Grundlage, um maßgeschneiderte Medikamente zu entwickeln. Bild: Roger Harris / Science Photo Library



Das Forschungszentrum DESY

DESY zählt zu den weltweit führenden Beschleunigerzentren. Mit den DESY-Großgeräten erkunden Forscher den Mikrokosmos in seiner ganzen Vielfalt – vom Wechselspiel kleinster Elementarteilchen über das Verhalten neuartiger Nanowerkstoffe bis hin zu jenen lebenswichtigen Prozessen, die zwischen Biomolekülen ablaufen. Die Beschleuniger und die Nachweisinstrumente, die DESY an seinen Standorten in Hamburg und Zeuthen entwickelt und baut, sind einzigartige Werkzeuge für die Forschung: Sie erzeugen das stärkste Röntgenlicht der Welt, bringen Teilchen auf Rekordenergien und öffnen völlig neue Fenster ins Universum.

DESY ist Mitglied der Helmholtz-Gemeinschaft, der größten Wissenschaftsorganisation Deutschlands.

www.desy.de