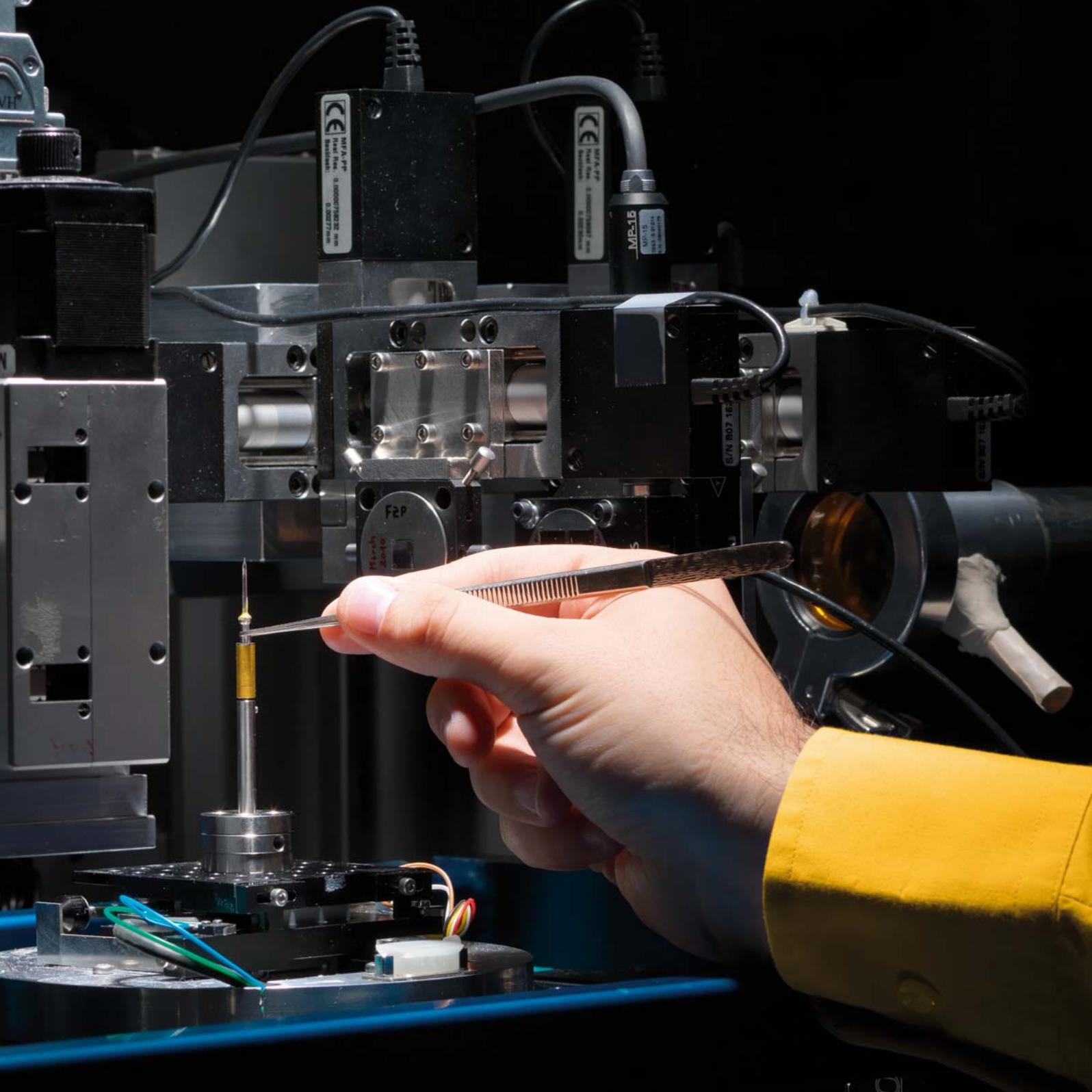


PAUL SCHERRER INSTITUT



Fenster zur Forschung



Inhalt

| | |
|---------|---|
| 5 | Cleantech – Am Anfang steht die Forschung |
| 6 / 7 | In Kürze: Watt d'Or Gletscherschmelze Lebensdauer Krebsmittel |
| 8 / 9 | Die goldene Idee |
| 10 / 11 | Kalifornien retour |
| 12 – 14 | David Attenborough filmt am PSI |
| 15 – 17 | Kupfertassen für den SwissFEL |
| 18 / 19 | Durchblick mit Neutronen |
| 20 / 21 | Die Grossforschungsanlagen des PSI |
| 22 / 23 | Das PSI ist ein Nutzerlabor |
| 24 / 25 | Die Forschungsschwerpunkte des PSI |
| 26 | Das PSI im Überblick |
| 27 | Impressum |

Sehr geehrte Leserin
Sehr geehrter Leser

Saubere Technologien sind gross im Gespräch. Sie sollen helfen, nachhaltige Lösungen für globale gesellschaftliche Herausforderungen zu finden, wie sie Bevölkerungswachstum, die Begrenztheit natürlicher Ressourcen oder der Klimawandel mit sich bringen. Auch die Schweiz will sich an deren Entwicklung beteiligen und dabei auch den Wirtschaftsstandort stärken. Dazu hat der Bundesrat den Masterplan Cleantech Schweiz lanciert, in dessen Rahmen nachhaltige Lösungen für die gesamte Wertschöpfungskette entstehen sollen. Wie bei jedem innovativen Projekt steht auch hier am Anfang die Forschung – von der Grundlagenforschung, die ein grundsätzliches Verständnis chemischer und physikalischer Vorgänge liefert, bis zur Auftragsforschung, bei der gezielt an der Lösung eines konkreten Problems geforscht wird. Dabei gibt es keinen typischen Weg, der von der einen Art zu forschen zu der anderen führt, um schliesslich in einem Produkt zu enden. Umso wichtiger ist es, Plattformen zu schaffen, wo sich die Beteiligten austauschen und nach Synergien suchen können. Der ETH-Rat hat am Paul Scherrer Institut – als grösstem nationalem Energieforschungsinstitut – das Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität CCEM angesiedelt. Wir sind bereit, dessen Projektpartnerschaften im Rahmen von Cleantech auf alle Akteure in der Schweiz auszuweiten. Dazu gehört auch eine stär-

Cleantech – Am Anfang steht die Forschung



kere Vernetzung der im Land bestehenden Stellen für den Transfer von der Wissenschaft zur Wirtschaft.

Der Beitrag des PSI zur Cleantech-Initiative konzentriert sich auf die Energie- und Umweltforschung. Dabei bringt das PSI nicht nur eigene Erfahrungen auf diesen Forschungsgebieten ein, sondern auch das Angebot, an den Grossanlagen des Instituts zu forschen. Diese Anlagen bieten Experimentiermöglichkeiten, die in üblichen Laboren nicht verfügbar sind. Und sie sind so aufwendig im Betrieb, dass es sie in der Schweiz nur am PSI gibt, das sie allen Forschenden zur Verfügung stellt.

Auch mit unserer künftigen Grossanlage SwissFEL werden wir einen Beitrag zu den Anliegen der Cleantech-Initiative leisten.

Zum Beispiel in der Katalysatorforschung. Katalysatoren sind an rund 80 % aller Prozesse in der chemischen Industrie beteiligt, sodass auch kleine Effizienzsteigerungen im industriellen Massstab zu grossen Energieeinsparungen führen. Um katalytische Vorgänge zu optimieren, muss man ihre einzelnen, extrem kurzen Reaktionsschritte verstehen – mit den Röntgenlichtblitzen des SwissFEL wird man diese Schritte erstmals beobachten können.

A handwritten signature in blue ink that reads "J. Mesot".

Professor Dr. Joël Mesot
Direktor Paul Scherrer Institut

Watt d'Or

Brennstoffzellen erzeugen elektrischen Strom aus der Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff. Neben elektrischer Energie entstehen dabei nur Wasser und Wärme. Stattet man ein Elektroauto mit einer Brennstoffzelle als Energiewandler aus, bekommt man ein Fahrzeug, das im Betrieb keine Abgase erzeugt. Das PSI und die Belenos AG wollen nun noch einen Schritt weiter gehen. Ziel ihrer Kooperation ist eine Brennstoffzelle, die in ein Auto integriert werden könnte, das mit herkömmlichen Fahrzeugen konkurrieren kann – das also bei langfristigem Betrieb nicht mehr kostet und in etwa gleich lang hält. Belenos arbeitet aber auch daran, den Wasserstoff mithilfe von Sonnenenergie zu erzeugen. Dann wäre Mobilität fast ohne CO₂-Produktion möglich.

Diesem Ziel ist man nun näher gekommen – die Partner haben ein Brennstoff-



Marcel Hofer und Jérôme Bernard vom PSI am Brennstoffzellenprüfstand. Dort wird auch die Brennstoffzelle getestet, die in Kooperation mit der Belenos AG entwickelt wird.

zellensystem entwickelt, das das Potenzial hat, kostengünstig in ein Auto eingebaut zu werden. Dafür wurden sie mit dem Watt d'Or 2011, der Auszeichnung für Bestleistungen im Energiebereich des schweizerischen Bundesamtes für Energie, in der Kategorie «Energieeffiziente Mobilität» ausgezeichnet.

Entscheidend für den Erfolg war die kombinierte Kompetenz von PSI und Belenos. Das PSI arbeitet seit vielen Jahren an Brennstoffzellen. Belenos, die eng mit der Swatch Group verbunden ist, bringt die Erfahrung ein, komplexe Geräte kostengünstig in grosser Stückzahl zu produzieren.

Gletscherschmelze

Die Klimaerwärmung ist nicht alleine daran schuld, dass im Himalaya die Gletscher schmelzen. Mitverantwortlich ist auch Russ, der bei der Verbrennung von Öl, Kohle, Holz oder Biomasse entsteht. Wind trägt ihn in die Bergregionen, wo er auf der Gletscheroberfläche abgelagert wird und sie dunkler werden lässt. Und ein dunkler Gletscher erwärmt sich im Sonnenlicht stärker als einer, der mit weissem Schnee bedeckt ist.

Wie wichtig dieser Effekt im Himalaya ist, haben nun Forschende des PSI zusammen mit Kollegen aus China und den USA gezeigt. Ein Eisbohrkern von einem Glet-



PSI-Forscherin Margit Schwikowski mit einem Eisbohrkern.

scher in der Nordflanke des Mount Everest erlaubte es ihnen, die verschiedenen Eisschichten zu untersuchen, die sich dort seit dem Jahr 1860 nacheinander gebildet haben.

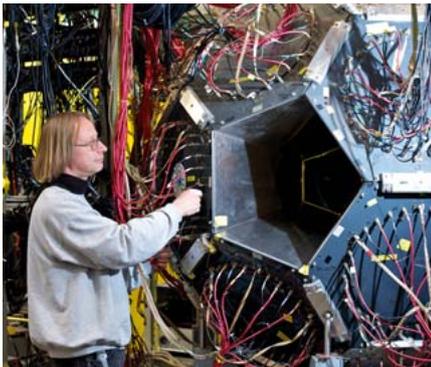
So konnten sie sehen, dass sich Russ erst seit etwa 1975 in grösseren Mengen auf dem Gletscher ansammelt – ein Hinweis, dass er durch menschliche Aktivitäten entsteht. Demnach könnte man die Gletscherschmelze verlangsamen, indem man die Russemissionen senkt. Und zwar deutlich, denn in den Wintermonaten trägt der Russ etwa gleich stark zur Gletscherschmelze bei wie die Klimaerwärmung. Im Sommer hat der Russ kaum Bedeutung, weil ihn der Monsunregen aus der Atmosphäre entfernt.

Nun wollen die Forschenden untersuchen, welche Rolle Russ für die Alpengletscher spielt. Dabei müssen sie bedenken, dass im Spätsommer auch Gesteinsstaub und vielleicht sogar Algen die Gletscher dunkel werden lassen.

Lebensdauer

Seit Kurzem ist die Lebensdauer des Myons so genau bekannt wie keine andere in der Welt der Atome und kleinsten Teilchen. Das Myon ist ein Elementarteilchen, ähnlich dem Elektron, aber rund 200-mal schwerer und instabil. Es zerfällt – wie man nun weiss – innerhalb von 2,1969803 Millionstelsekunden. Diesen beispiellos exakten Wert, dessen Unsicherheit nur 2 Millionstel einer Millionstelsekunde beträgt, verdanken wir einem internationalen Forschungsteam, das an der Beschleunigeranlage des PSI gemessen hat. Denn nur hier werden für ein derartiges Experiment genügend Myonen erzeugt. Insgesamt haben die Forschenden für mehrere Billionen Myonen den Zeitpunkt des Zerfalls bestimmt.

Es war nicht allein der Wunsch, möglichst viel über das Myon zu erfahren, der



PSI-Forscher Bernhard Lauss an der Detektoranordnung, die zur Messung der Myonenlebensdauer verwendet wurde.

die Forschenden zu dem Experiment inspiriert hat. Vielmehr ermöglicht das Ergebnis, die Stärke der sogenannten schwachen Kraft zu bestimmen und damit einen Beitrag zum Verständnis der Grundstrukturen der Materie zu leisten. Die schwache Kraft ist eine der vier Grundkräfte der Natur. Sie ist in unserem Alltag nicht unmittelbar präsent wie etwa die Schwerkraft oder die elektromagnetische Kraft. Aber sie steht hinter den Vorgängen, die die Sonne scheinen lassen, und ist unverzichtbarer Teil des modernen Bildes der Welt der Elementarteilchen.

Krebsmittel

Am Zentrum für Radiopharmazeutische Wissenschaften ZRW des PSI werden Mittel gegen Krebs entwickelt, die den Tumor gezielt zerstören und das gesunde Gewebe schonen. Dazu werden Antikörper mit radioaktiven Metallatomen bestückt. Diese aufgerüsteten Biomoleküle erkennen Krebszellen und halten sich an ihnen fest, sodass das Radionuklid seine Strahlendosis am erkrankten Gewebe deponiert. Radionuklide können nicht direkt an Antikörper angebracht werden. Die Bestückung erfolgt indirekt über Chelatoren – spezielle Moleküle, die Metallatome binden. Herkömmliche chemische Reaktionen zur Kopplung von Chelatoren an Antikörper sind schwierig zu steuern. Sie führen zu Produktgemischen mit variierender Anzahl



Jürgen Grünberg demonstriert Besuchern am «gläsernen Menschen», wie Radionuklide ihren Weg zum Tumor finden.

Chelatoren pro Antikörper. «Das ist unerwünscht, denn die Verbindungen verhalten sich im Körper ganz unterschiedlich. Optimal wirksam ist ein Verhältnis von Antikörper zu Chelator von 1:4», erklärt Senior Scientist Jürgen Grünberg.

Die Forschenden am ZRW warten nun mit einer eleganten Alternative zur chemischen Veränderung der Antikörper auf. Sie basiert auf dem bakteriellen Protein Transglutaminase, das bestimmte Proteinausteine miteinander verknüpfen kann. Die Forscher vermuteten, dass sich das Enzym für ihre Zwecke verwenden lässt. Tatsächlich konnten sie zeigen, dass die Transglutaminase stets vier Chelatoren an definierte Stellen des Antikörpers bindet und so einheitliche Produktmoleküle im gewünschten Verhältnis bildet.

Flüssige Treibstoffe mit Sonnenenergie herstellen

Die goldene Idee



Aldo Steinfeld hat ein ehrgeiziges Forschungsziel: Er will Autos und Flugzeuge mit Sonnenenergie antreiben, indem er Diesel und Kerosin mithilfe konzentrierter Sonnenstrahlung herstellt. «Als Grundlage für die Synthese flüssiger Treibstoffe nutzen wir einfach Wasser und Kohlendioxid. Und die Sonne als Quelle sauberer erneuerbarer Energie», erklärt Steinfeld sein Kochrezept. «Die Technologie, an der wir arbeiten, ist zu hundert Prozent nachhaltig, weil wir das Kohlendioxid und sogar das Wasser, die bei der Verbrennung des Treibstoffs entstehen, vorher direkt der atmosphärischen Luft entziehen. So haben wir einen perfekt geschlossenen Materialkreislauf.» Eine «goldene Idee», fand die Schweizerische Gesellschaft für Ideen- und Innovationsmanagement IDEE-SUISSE® und zeichnete Steinfeld für die Entwicklung eines Solarreaktors, in dem solche Reaktionen stattfinden könnten, mit ihrem Golden Idea Award aus.

Technologien zu entwickeln, um thermochemische Reaktionen mithilfe von Sonnenenergie anzutreiben, ist Steinfelds

Preisträger Aldo Steinfeld,
Leiter des Labors für Solartechnik

Lebensthema geworden. Der in Uruguay geborene Forscher studierte zwar zunächst in Israel Luft- und Raumfahrttechnik, war dann aber mehr von der Solarchemie fasziniert und schrieb schon seine Doktorarbeit an der Universität von Minnesota, USA, auf diesem Gebiet. Im Jahr 1991 wurde das PSI auf Steinfeld aufmerksam und bot ihm eine Stelle am neuen Labor für Solartechnik an. Er nahm an, blieb und übernahm 2005 die Leitung des Labors. Und erhielt zwei Jahre später noch eine ordentliche Professur an der ETH in Zürich.

Bedauert hat Steinfeld seine Entscheidung, ans PSI zu kommen, auch nach zwanzig Jahren nicht – und kann das Institut wegen der ausgezeichneten Arbeitsbedingungen und der guten Infrastruktur für Grundlagen- und angewandte Forschung nicht genug loben.

Die technische Herausforderung für die Erzeugung von solaren Treibstoffen ist der Hochtemperatur-Solarreaktor. Hier werden Wasser und Kohlendioxid mithilfe konzentrierter Solarstrahlung in eine Mischung von Wasserstoff und Kohlenmonoxid umgewandelt, die man Syngas oder Synthesegas nennt. Zudem ist noch ein Metalloxyd beteiligt, mit dem das Innere des Reaktors



Die zehn Xenon-Lampen des Solarsimulators erzeugen für Experimente künstliches hochkonzentriertes Sonnenlicht.

ausgekleidet ist. Es wird beim Umwandlungsprozess nicht verbraucht und ist doch für den Prozess unentbehrlich. Herauszubekommen, mit welchem Metalloxyd der Prozess am besten funktioniert, ist eine der Forschungsaufgaben. Steinfeld: «Der Rest beruht auf bewährten Technologien. Es gibt industrielle Anlagen, in denen aus Syngas flüssige Treibstoffe hergestellt werden. Und hochkonzentriertes Sonnenlicht von mehreren Megawatt ist in kommerziellen solarthermischen Kraftwerken verfügbar. Wir müssten da nur die Verdampfungsanlage durch den Solarreaktor ersetzen.» Zurzeit sind die Solarforscher

um Steinfeld dabei, den ersten 100-kW-Solarreaktor zu bauen.

«Wir entdecken jeden Tag etwas Neues, das macht den Reiz meiner Arbeit aus», sagt Steinfeld. Den Reiz, der ihn – neben der Vision einer nachhaltigen Energieversorgung – ohne Klage beinahe die ganze Zeit arbeiten lässt. Zu der eigentlichen Forschung kommen noch die Verpflichtungen an der ETH Zürich, wo er Vorlesungen hält und Doktorierende betreut. Und am Wochenende? «Da lese und schreibe ich vor allem Veröffentlichungen. Da bin ich frei von der Hektik des Institutsalltags und habe Ruhe zum Nachdenken.»

In Stanford werden Technologien für den SwissFEL erprobt

Kalifornien retour

Beim Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL geht es voran. Im August 2010 ging die 250-MeV-Testanlage in Betrieb, an der die Technologie für den ersten Teil der neuen PSI-Grossanlage erprobt werden soll. Viele Komponenten sind bereits entworfen, und Prototypen stehen kurz vor der Produktion. Der Standort im Würenlinger Wald erwies sich nach eingehender Prüfung aller Optionen als der einzig geeignete für die Anlage. Auf eine offizielle Zustimmung des Parlaments zur Finanzierung des Projekts wird man bis nach den eidgenössischen Wahlen im Herbst 2011 warten müssen. Aber Bundesrat und ETH-Rat haben Mittel für die Übergangszeit zugesagt, sodass wichtige Entwicklungen und Bestellungen vorangetrieben werden können. Und auch der Kanton Aargau trägt mit insgesamt 30 Millionen Franken über fünf Jahre zur Finanzierung bei.

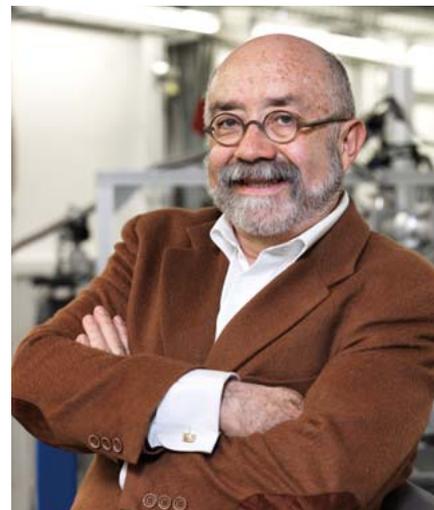
Gegen Ende 2016 wird es soweit sein: Die Anlage wird extrem kurze und intensive Blitze aus Röntgenlicht erzeugen, mit denen Forschende den Aufbau komplexer Moleküle entschlüsseln oder extrem schnelle Vorgänge auf Nanoebene verfolgen werden. Die Technologien für diese neuartigen Experimente werden zwar am

PSI entwickelt, erproben kann man sie heute aber nur im kalifornischen Stanford, wo die bisher einzige mit dem SwissFEL vergleichbare Anlage in Betrieb ist.

In zehn Minuten eine ganze Messung

Rafael Abela, einer der SwissFEL-Projektleiter, war schon an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI am Aufbau eines Messplatzes beteiligt, an dem man mit extrem kurzen Röntgenlichtpulsen experimentiert. «Erst damit können wir beobachten, wie sich die Form eines Moleküls unter dem Einfluss eines Lichtblitzes verändert. Eine solche Reaktion läuft ja so schnell ab, dass man sie mit sehr kurzer Belichtungszeit ablichten muss, will man scharfe Bilder einzelner Zwischenschritte bekommen», so der Forscher.

Für solche Versuche war die SLS ursprünglich nicht gedacht. Dennoch: ähnlich wie das in Zukunft am SwissFEL sein wird, werden auch an der SLS Elektronen zunächst auf beinahe Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und dann auf eine gekrümmte Bahn gezwungen. Dabei erzeugen sie das Röntgenlicht für die Experimente. Nur werden am SwissFEL die Elektronen in kleinen



Rafael Abela, einer der SwissFEL-Projektleiter – zuständig für die Forschung an der Anlage.

Grüppchen durch die Anlage fliegen und so durch eine sogenannte lawinenartige Verstärkung kurze Lichtblitze erzeugen. An der SLS sind die Elektronengruppen langgestreckt und deswegen sind auch die Lichtblitze lang, zu lang. «Um kurze SLS-Pulse zu erzeugen, schneiden wir mit einem Laser aus den langen Elektronengruppen kurze Stücke heraus und bringen sie dazu, sich auf eigenen Bahnen zu bewegen. So erzeugen sie die kurzen Pulse. Mit 200 Fem-



PSI-Forscher Gerhard Ingold am FEMTO-Messplatz an der SLS, wo mit extrem kurzen Pulsen experimentiert wird.

tosekunden Länge sind sie aber noch nicht so kurz wie dereinst am SwissFEL. Hier sollen die Röntgenpulse zehnmal kürzer sein», erklärt PSI-Forscher Gerhard Ingold, der an den SLS-Experimenten beteiligt war und jetzt auch an den Messungen in Kalifornien mitarbeitet. Eine Femtosekunde ist ein Milliardstel einer Millionstelsekunde oder 0,000 000 000 000 001 Sekunden.

Damit haben die Forscher im Prinzip Experimente durchgeführt, wie sie am SwissFEL grossen Raum einnehmen werden. Hier sollen vor allem die Verläufe sogenannter katalytischer Reaktionen verfolgt werden. Dazu gehören die meisten von der chemischen Industrie genutzten Reaktionen, aber auch diejenigen im Abgaskatalysator eines Fahrzeugs. Doch wie kann man sicher sein, dass solche Experimente am SwissFEL tatsächlich klappen werden? «Zunächst mussten wir neue Experimentiermetho-

den entwickeln, die die Möglichkeiten des SwissFEL voll ausnutzen. Damit haben wir den Versuch, den wir 2008 an der SLS gemacht hatten, in Stanford wiederholt. Und es hat funktioniert», freut sich Abela, «und weil die Lichtpulse dort so intensiv sind, haben wir nur zehn Minuten pro Experiment gebraucht. Man hat dadurch neue Möglichkeiten, kann viele verschiedene Proben testen oder Proben untersuchen, die ein sehr viel schwächeres Signal erzeugen.»

SwissFEL-Licht auf Nanofokus konzentriert

Auch für einen anderen Typ Experiment schaffen die Forschenden gerade die Voraussetzungen: die Bestimmung des Aufbaus von Substanzen, die manchmal nur als winzige Kristalle verfügbar sind – gerade mal Bruchteile eines Mikrometers

(tausendstel Millimeter) gross. Da der Querschnitt des SwissFEL-Strahls mit 200 mal 200 Mikrometer deutlich grösser sein wird als die Probe, würde der grösste Teil des wertvollen Lichts ungenutzt an dem Kristall vorbeifliegen.

Die Lösung besteht darin, das Röntgenlicht zu bündeln – ähnlich wie man gewöhnliches Licht mit einem Brennglas bündelt. Da man aber Röntgenlicht nicht mit Glaslinsen beeinflussen kann, entwickelt die Arbeitsgruppe um Christian David am Labor für Mikro- und Nanotechnologie des PSI seit Jahren spezielle Röntgenlinsen, die aus einer Anordnung konzentrischer Ringe bestehen. Eine solche Linse für den SwissFEL oder den LCLS muss besonders widerstandsfähig sein – denn sie muss dem intensivsten Röntgenlicht der Welt standhalten. Und das schafft nur ein Material: Diamant. Im Herbst 2010 konnten die PSI-Forschenden ihre Linsen in Kalifornien ausprobieren. «Das Ergebnis bestätigte, dass die Linsen den Strahl aushalten und ihn auf einen Punkt mit einem Querschnitt von deutlich weniger als einem Mikrometer fokussieren», sagt Abela. «Sie erzeugen damit an diesem Punkt Röntgenlicht, das so intensiv ist, wie wohl nirgends zuvor», betont Christian David nicht ohne Stolz.



Interview mit Marco Stampanoni

David Attenborough filmt am PSI

Herr Stampanoni, eigentlich ist es doch erstaunlich: Das Team eines der berühmtesten Naturfilmer, David Attenborough von der BBC, war zum Dreh am PSI – wegen winziger Sandkörner aus China. Was steckt dahinter?

Es war ja nicht irgendein Sand. Ein britischer Forscher, Philip Donoghue, hatte zusammen mit chinesischen Wissenschaftlern herausgefunden, dass es sich um eine Zusammenballung versteinertes 530 Millionen Jahre alter «Eier» mit Embryos der Gattung Markuelia handelte.

Wie kam das PSI ins Spiel?

Donoghue hatte die Fossilien in aufwendiger Arbeit mit Licht-Mikroskopen untersucht und so ihre äussere Gestalt detailliert betrachtet. Das brachte ihm einen Artikel in «Nature» ein. Aufnahmen aus dem Inneren konnte man sich nicht erlauben. Die Fossilien waren extrem selten, und man hätte sie für solche Untersuchungen zerschneiden müssen. Ich habe den Artikel gelesen und Donoghue vorgeschlagen, bei uns Probenmessungen zu machen. Denn wir haben mit der tomografischen Röntgen-Mikroskopie die Technologie, mit der solche winzige Objekte zerstörungsfrei von innen be-

trachtet werden können. Das liess er sich nicht zweimal sagen.

Wäre er nicht selbst darauf gekommen?

Jedes Kind weiss, was ein Mikroskop macht. Aber was mit Röntgentomografie möglich ist, wissen auch in Wissenschaftskreisen noch lange nicht alle. Donoghue jedenfalls fuhr mit dreidimensionalen Aufnahmen vom Inneren seiner Fossilien, die wir an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS gemacht hatten, nach Hause. Er war begeistert vom Potenzial der Technologie für seine Forschung. Die erste Veröffentlichung zu den Erkenntnissen, die er dank der Bilder an der SLS machte, kam gleich aufs Cover von «Nature». Das gilt in Wissenschaftskreisen als besondere Ehre.

Und wie wurde David Attenborough aufs PSI aufmerksam?

Als Attenborough seine grosse BBC-Serie zur Entstehung des Lebens plante, wandte er sich auch an Donoghue und fragte ihn, wie er zu seinen Ergebnissen gekommen sei. Dieser erzählte ihm von der SLS und der Möglichkeit, dort dreidimensionale Bilder aus dem Inneren seiner Fossilien zu machen.

Zur Person

Marco Stampanoni (37) ist promovierter Physiker mit Nachdiplomstudium in medizinischer Physik. Seit sechs Jahren leitet er die Röntgentomografie-Gruppe an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Der gebürtige Tessiner ist zudem seit 2008 Assistenzprofessor an der ETH Zürich. Der zweifache Vater spielt in seiner Freizeit gern Klarinette.

Im einstündigen ersten Teil der Serie wird volle fünf Minuten lang über die SLS berichtet.

Das war für uns wirklich eine Anerkennung. In der ganzen Serie gibt es nur Natur- und Landschaftsaufnahmen. Und natürlich viele Computeranimationen zum Leben der Frühgeschichte der Erde. Moderne Infrastruktur wird nur ein einziges Mal gezeigt, und das ist ausgerechnet die SLS.

Wie erklären Sie die enorme Aufmerksamkeit, die der SLS in der Serie geschenkt wird?

Dank unserer Bilder gelang Donoghue ein Durchbruch. Die Tiere, die vor Markuelia lebten, gewannen ihre Energie direkt aus

der Umgebung, durch wahrscheinlich wenig effiziente chemische Prozesse. Bewegung hätte zu viel Energie verbraucht, also wurde sie vermieden. Markuelia ist anders. Dieser fossile Wurm hat einen kompletten Verdauungsapparat. Und vor allem: Er hat Maul und Zähne.

Demnach handelt es sich hier um das erste Raubtier der Erdgeschichte.

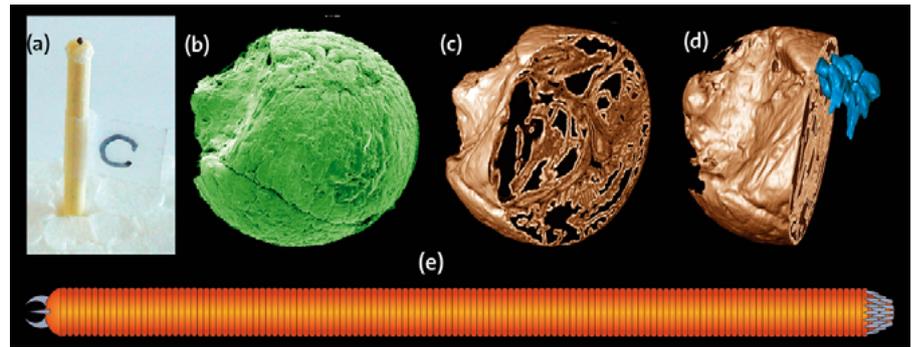
So wird er tatsächlich im Film bezeichnet. Attenborough widmet ihm grosse Aufmerksamkeit. Denn die Fähigkeit, Beute zur Nahrungsbeschaffung zu jagen und die Beute auch effizient zur Energiegewinnung zu verdauen, bedeutet für die Evolution einen enormen Schritt. Und das Erstaunlichste: Noch heute leben auf dem Meeresboden Lebewesen, die den Markuelia sehr ähnlich sind, die Priapswürmer.

Was hiess es für Ihre Mitarbeitenden, ein Filmteam an ihrem Arbeitsplatz zu haben?

Wir haben natürlich erst mal kräftig aufgeräumt, kein Schraubenzieher lag mehr herum. Und wir haben dafür gesorgt, dass der Kern der Apparatur ohne überflüssige Kabel gut zu sehen war. Der Dreh fand während Shutdown-Tagen statt, in denen der normale Betrieb ruht. Gewöhnlich nutzen wir diese Tage, um unsere Instrumente zu optimieren und Reparaturen durchzuführen.

Ist die SLS «Hollywood-kompatibel»?

Die Beleuchter hatten einiges zu tun. Die Lichtverhältnisse sind bei uns offen-



Ein mehr als 500 Millionen Jahre alter Embryo von *Markuelia secunda*: (a) Als schwarzer Punkt auf dem Zahnstocher; (b) in der Oberflächen-Analyse mit Rasterelektronenmikroskopie; (c) in einem virtuellen Schnitt, basierend auf der tomografischen Mikroskopie mit Synchrotronstrahlung; (d) hier wurde rechts der Schwanz des Embryos (blau) hervorgehoben. (e) So sah vermutlich die *Markuelia* aus, der Kopf ist links. (Grafik: Universität Bristol / Paul Scherrer Institut)

bar nicht kamerafreundlich. Zudem wurden zwischen den Beschleuniger- und Speicherringen, in denen die Elektronen mit annähernd Lichtgeschwindigkeit fliegen, Schienen für die Kameras verlegt. Der Kameramann hat zudem eine 360-Grad-Tour mit dem Hallenkran unternommen. Die Leute haben einen grossen Aufwand betrieben für die fünf Minuten fertigen Film.

Lief die Zusammenarbeit gut?

Das Team hat extrem effizient und professionell gearbeitet. Ich war überrascht, wie interessiert die Filmleute an dem waren, was wir hier machen. Der Regisseur liess sich haargenau erklären wie alles funktioniert. Er muss wissen, was er wie ins Bild bringt, damit nachher alles stimmt. Und wir hatten einen wunderbaren Blick hinter die Kulissen, und konnten sehen, welch enorme Arbeit in einer solchen Filmproduktion steckt. Ich habe versucht, so vielen Doktoranden und Postdocs wie möglich wenigstens Sekundenrollen zu verschaffen.

«First Life» wurde auf BBC bereits gesendet, die DVD hat wahrscheinlich ihr ganzes Team zu Hause. Wie geht es weiter mit *Markuelia*?

Die Zusammenarbeit mit Philip Donoghue bleibt spannend. Wir können ihm natürlich auch ein sehr gutes Instrument für seine Forschung bieten. Seine ersten Messungen im Jahr 2004 dauerten noch einhalb Stunden pro 3-D-Bild. Inzwischen konnten wir die Technik so weit verbessern, dass wir bei fünf bis zehn Minuten pro 3-D-Bild sind. Ziel ist eine Sekunde pro Datensatz. Wir hoffen, dies noch 2011 erstmals erreichen zu können.

Eine Sekunde pro 3-D-Bild! Das eröffnet sicher ganz neue Möglichkeiten?

Wir könnten dann erstmals auch dynamische, mikroskopische Prozesse dreidimensional visualisieren. Etwa die Entwicklung von Aluschäumen untersuchen, wie sie die Flugzeugbauer verwenden. Oder die Bewegungen einzelner Alveolen in den Lungen von atmenden Tiere beobachten. Das hat noch niemand gemacht.

Die Beschleunigerkonstruktion

Kupfertassen für den SwissFEL

Urs Ellenberger und sein Team sind gewohnt, das scheinbar Unmögliche möglich zu machen. «Unsere Arbeit beginnt dort, wo am Markt keine Standardlösungen gekauft werden können», sagt der Experimentalphysiker nicht ohne Stolz. Als Leiter der PSI-Abteilung Maschinen-Ingenieurwissenschaften AMI zeichnet er für einen Grossteil der Konstruktions- und für fast alle Fertigungsarbeiten am PSI verantwortlich – auch für jene für den künftigen Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL, der 2016 am PSI in Betrieb gehen und ultrakurze Röntgenlichtpulse liefern wird.

Im Fokus der aktuellen Anstrengungen steht eine «Tasse». Der unscheinbare Name steht in keinem Verhältnis zur Bedeutung, die diesem Bauteil zukommt: Es bildet das grundlegende Bauelement für den Linearbeschleuniger des SwissFEL – also für die zweite Stufe des rund 700 Meter langen Röntgenlasers. In der ersten Stufe werden Elektronen aus einer Metallplatte herausgelöst und zu kompakten Bündeln geformt. In der zweiten Stufe werden die Bündel beschleunigt und anschliessend in der dritten Stufe auf eine wellenförmige Bahn gezwungen. Dabei strahlen die Elektronen Röntgenlicht ab, das schliess-



Urs Ellenberger, Ludwig Paly und Mechaniker Matthias Moser vor der Ultrapräzisionsdrehbank, an der der Kupfertassen-Prototyp gefertigt wurde.

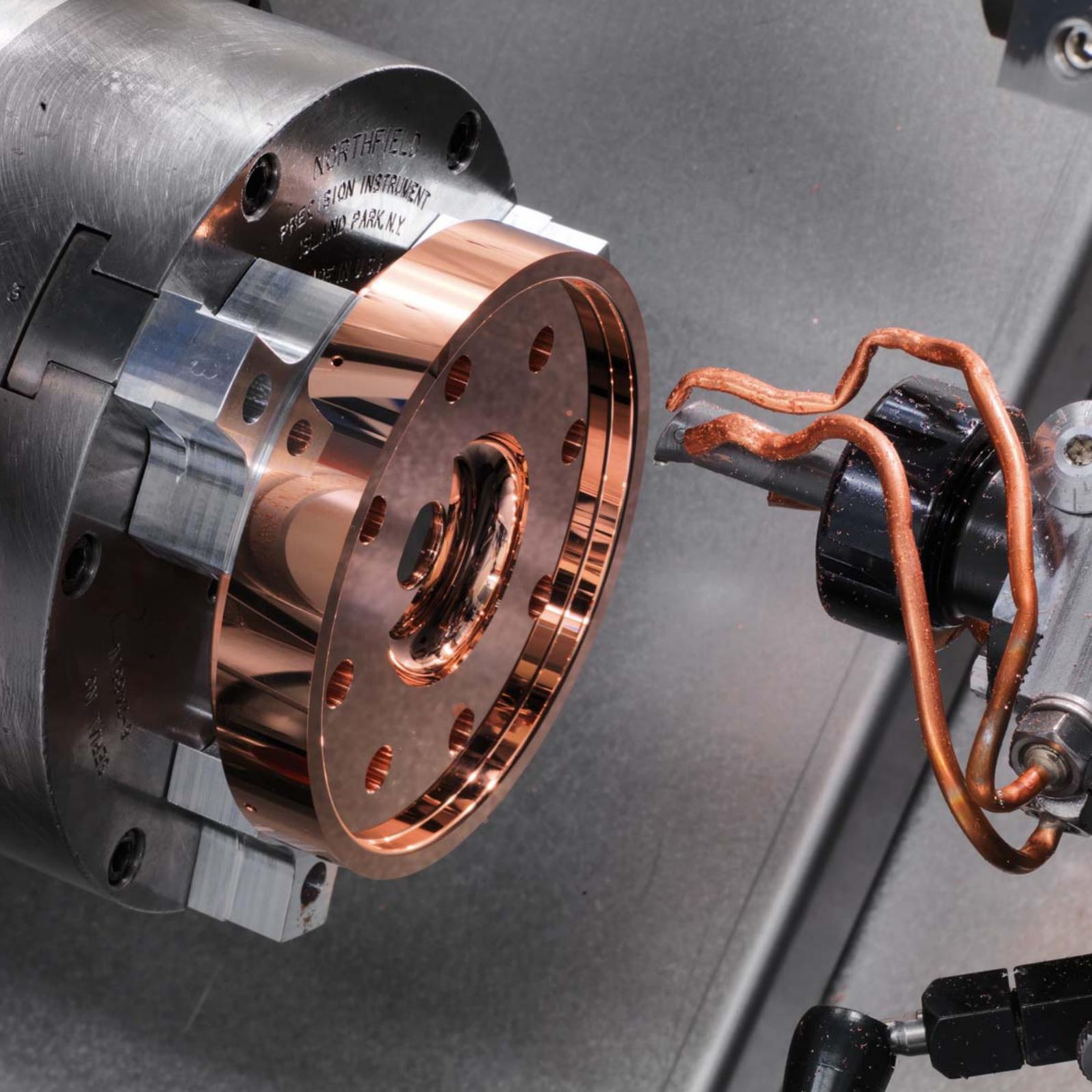
lich dazu verwendet wird, extrem schnelle Prozesse wie etwa chemische Reaktionen sichtbar zu machen.

Der Linearbeschleuniger wird aus den Tassen aufgebaut. Es handelt sich um rund zwei Zentimeter dicke, ringförmige Scheiben aus reinstem Kupfer, die eine zentrale Aussparung haben. Werden mehrere Tassen zusammengefügt, ergibt sich ein komplex geformter Hohlraum, genannt Kavität. Darin werden künftig Radiowellen mit Frequenzen von 6 Gigahertz (Milliar-

den Schwingungen pro Sekunde) eingespeist, die die Elektronenpakete auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigen. Die Teilchen «surfen» dabei auf den Hochfrequenzwellen wie Wellenreiter im Meer.

Gedreht und nicht poliert

Hochfrequenz-Spezialisten haben genauestens berechnet, wie die Geometrie und Innenfläche des Beschleunigungskanals beschaffen sein müssen, damit die Elektronen



NORTHFIELD
PRECISION INSTRUMENT
PLANO PARK, N.Y.

die notwendige Energie erreichen. «Die Anforderungen an die einzelne Tasse sind derart hoch, dass wir ihre Herstellung von Grund auf neu entwickeln müssen», erklärt Ellenberger, der nach verschiedenen Stationen in der Maschinenindustrie vor rund sechs Jahren ans PSI kam.

Derzeit konzentrieren sich die Arbeiten darauf, den Prototyp der Tasse zu fertigen. Die Herausforderung liegt darin, Verfahren zu finden, um die enorme Präzision gewährleisten zu können. Im Werkraum der AMI liegt der Geruch von Metallspänen in der Luft. Ein Mechaniker spannt eine matt schimmernde Kupferscheibe in die Drehbank ein und beginnt, den Rohling zu bearbeiten. Ludwig Paly, Leiter der Sektion Produktionstechnik in der AMI, erklärt: «Die ganze Tassenfertigung erfolgt durch eine spanabhebende Bearbeitung mit einem hoch präzisen Diamantschneidwerkzeug. Wir verleihen dem Rohmaterial schrittweise immer mehr Kontur, und mit jedem Prozessschritt erreichen wir eine höhere Form- und Lagegenauigkeit.»

Fertiggestellt glänzt das Fabrikat wie poliertes Gold – doch es wird weder poliert noch geschliffen, denn das würde das Kupfer verunreinigen. Die Oberfläche der Tasse ist nun so fein, dass die höchsten Erhebungen 25 Nanometer (millionstel Millimeter) nicht überschreiten. «Sind

die Unebenheiten grösser, wirkt das auf die Elektronen wie eine holperige Bahn», mahnt Paly. Um den Prototyp zu verwirklichen, wurde eigens eine Drehbank für die Ultrapräzisionsfertigung angeschafft. Doch das allein genügt nicht, wie Paly betont: «Wer Qualität liefern will, muss drei Faktoren vereinen: Den qualifizierten Menschen, die richtige Maschine und eine günstige Umgebung – sprich: klimatisierte Räume. Das Wichtigste jedoch ist immer der Mensch», versichert der Techniker.

Know-how-Transfer in die Industrie

Für die Realisierung der 200 Meter langen Beschleunigungsstrecke werden der-einst 10 000 dieser Tassen aneinandergereiht, wobei die Richtgenauigkeit 10 Mikrometer (tausendstel Millimeter) pro Meter betragen wird. «Das heisst, die Abweichung gegenüber einer geraden Linie darf nicht mehr als ein Fünftel der Dicke eines menschlichen Haares betragen. Schön wär's, wir könnten die Tassen einfach aufreihen und die Vorgabe erfüllen, doch so gut ist kaum jemand – nicht mal wir», schmunzelt Ellenberger, «zumindest nicht auf Anhieb».

Die Ingenieure der AMI verschaffen sich Abhilfe, indem sie das Problem zerlegen: Erst werden 10, später 100 Tassen

höchst präzise und bei kontrollierter Temperatur im Vakuum-Lötofen aneinandergelötet. Die Toleranz gegenüber unsauberen Lötstellen ist praktisch gleich null – bereits die kleinste Lotwulst kann unter Hochspannung zu Entladungen führen und Kurzschlüsse verursachen.

Bis Sommer 2011 will Ellenberger eine erste 20-Zentimeter-Struktur vorweisen, danach eine 2-Meter-Kavität realisieren. «Doch dann kommt gleich die nächste Krux, denn wir brauchen 100 dieser Bauteile – wir sind aber kein industrieller Fertigungsbetrieb», räumt er ein. Geplant ist deshalb, ein bekanntes Schweizer Unternehmen für die Serienfertigung einzuspannen. Die AMI-Fachleute erarbeiten das Know-how in der Ultrapräzisionsfertigung und entwickeln die Prozessschritte für die industrielle Umsetzung. Die Partnerfirma wird vor Ort angelernt. Geliefert werden dann jeweils zwei 2-Meter-Kavitäten mit Feinmechanik zur Justierung, alles fixfertig auf einem Granitblock montiert. Dann werden die Komponenten eingehend geprüft und sukzessive in den Röntgenlaser eingebaut.

Bis dahin gibt es noch etliche Hürden zu nehmen. Schlaflose Nächte hat Ellenberger deswegen keine: «Wir schaffen das. Das ist unser Anspruch», sagt der Chef des zentralen Maschinenbaus am PSI.

Dem inneren Stress von Metallen auf der Spur Durchblick mit Neutronen



Vadim Davydov und Steven Van Petegem justieren eine Zugmaschine auf dem Probenstisch des Instruments POLDI. Dabei bereiten sie eine Spannungsfeldmessung während des Zugversuches vor.

Wenn Helena Van Swygenhoven von ihrer Arbeit spricht, dann geht es unweigerlich um Spannungen. Nicht die Art von Spannungen, die man bei einer leitenden Forscherin am PSI, zweifachen Mutter und Professorin an der ETH Lausanne auf Anhieb vermuten könnte. Den Spagat zwischen Karriere und Familie meistert die studierte Physikerin nämlich souverän. Van Swygenhoven interessiert sich für den inneren Stress in Materialien, im Fachjargon «Eigenspannung» genannt: Es sind dies Zug- und Kompressionsspannungen, die

in Festkörpern auftreten, auch wenn von aussen keine Kräfte auf sie wirken.

Bei industriellen Bauteilen können Eigenspannungen bereits während der Herstellung oder später durch die Nutzung entstehen, vor allem dann, wenn die Werkstücke extremen Belastungen ausgesetzt sind. In Gasturbinen zur Stromerzeugung etwa rotieren die Schaufelblätter mit 3600 Umdrehungen pro Minute. Es wirken gewaltige Fliehkräfte. 1400 Grad heisses Gas strömt durch die Turbine – die Schaufeln selbst erreichen Temperaturen bis 1000 Grad. «Eigenspannungen sind das zentrale Problem in der Maschinen- und Metallindustrie, da sie zu veränderten Materialeigenschaften und Mikrorissen führen können», weiss die Belgierin, die vor rund 20 Jahren ans PSI kam.

Struktur bestimmt Verhalten

Als Leiterin der Forschungsgruppe «Materialforschung und Simulation» an der Neutronen-Spallationsquelle SINQ geht Van Swygenhoven metallurgischen Phänomenen auf den Grund. «Metalllegierungen werden immer stärker und leichter – und ihr Verhalten zunehmend komplexer», er-

klärt sie. Unter Eigenspannung verändert sich die Mikrostruktur von Metallen, also deren mikroskopische Feinstruktur und das kristalline Gefüge. Da die Mikrostruktur die mechanischen Eigenschaften bestimmt, ändert sich auch das Materialverhalten. Daher ist die Thematik von grossem Interesse für die Industrie, was zu mehreren Projekten mit Firmen geführt hat. Sogenannte «in-situ-Experimente», mit denen sich die Dynamik von Mikrostrukturen unter Belastung studieren lässt, sind Van Swygenhovens Spezialgebiet. Am PSI stehen ihr dazu Instrumente zur Verfügung, die es erlauben, mithilfe von Neutronen tief ins Innere von Gegenständen zu blicken, ohne diese zu zerstören.

Von dieser Möglichkeit wusste auch Thomas Etter vom Materials Laboratory bei Alstom Schweiz. Der Werkstoffingenieur hat an der ETH Zürich über Verbundwerkstoffe promoviert und bereits während seiner Doktorarbeit Anlagen am PSI genutzt. Heute betreut er mit Van Swygenhoven einen Doktoranden, der in einer dreijährigen Forschungszusammenarbeit zwischen Alstom und der SINQ am PSI die Entstehung von Eigenspannungen an Turbinenschaufeln untersucht.



Das Forschungsteam mit Vadim Davydov, Helena Van Swygenhoven und Steven Van Petegem vor dem Eingang zum Experimentierareal des Instruments POLDI an der SINQ.

«Wir haben bei unseren Turbinenschaufeln lokale Veränderungen der Mikrostruktur entdeckt. Erste Untersuchungen an der verwendeten Metalllegierung haben gezeigt, dass Restspannungen aus dem Giessverfahren bei der Herstellung dafür verantwortlich sind. Da unsere Methoden nicht ausreichen, um das Phänomen genauer zu analysieren, haben wir uns ans PSI gewandt», resümiert Etter die Beweggründe für das gemeinsame Projekt, das zum Ziel hat, frühzeitige Materialermüdung zu verhindern und so potenzielle Schäden zu vermeiden.

Kombination zweier Methoden

Um das zu erreichen, entwickelten die Forscher eigens eine Methodik, die zwei Messtechniken auf der Basis von Neutronen

vereint. Da Neutronenstrahlen – im Gegensatz etwa zu Röntgenlicht – Metalle leicht durchdringen, sind sie bestens dafür geeignet, mechanische Bauteile oder ganze Motoren zu durchleuchten und die innere Beschaffenheit von Metalllegierungen zu prüfen. Im Fall der Turbinenschaufeln galt es zunächst, die für Eigenspannungen potenziell anfälligen Regionen innerhalb des Schaufelblattes mithilfe der Neutronen-Tomografie genau zu lokalisieren. Dieses bildgebende Verfahren erlaubt es, die komplexe dreidimensionale Struktur der Schaufeln einschliesslich der Hohlräume abzubilden. Danach wurden in einem zweiten Schritt die effektiven Eigenspannungen untersucht: Das Verfahren der Neutronenstreuung ermöglicht es, die Abstände der Atome im metallischen Gefüge zu messen und feinste Spannungsdehnungen sicht-

bar zu machen. Wenn Neutronen eine Metallprobe durchdringen, werden sie durch deren regelmässige atomare Struktur abgelenkt. Aus den Streubildern lassen sich mit aufwendigen Verfahren Rückschlüsse auf die Struktur ziehen. «Die Kombination der beiden Messtechniken ist sehr effizient, da wir die Eigenspannungsanalyse punktgenau vornehmen können, statt ganze Schaufelregionen zu untersuchen», sagt Werner Wagner, Leiter der SINQ. «Der neue Ansatz entstand gemeinsam mit Kollegen an der Neutronenquelle ISIS in England», fügt er an.

Die Kooperation mit Alstom läuft noch ein Jahr. Laut Etter ist das Projekt auf gutem Weg: «Wir konnten die Mikrostrukturänderungen durch die Neutronenstreuung bestätigen und genauer charakterisieren.» Weitere Analysen sind im Gang. «Die Ergebnisse könnten Alstom künftig dazu dienen, die Wärmebehandlungsschritte in der Herstellung zu optimieren oder das Schaufelblatt-Design zu modifizieren», sagt er.

Finanziert wird das Projekt zu zwei Drittel durch das Competence Centre for Materials Science and Technology CCMX – für den Rest kommt Alstom auf. Das CCMX gehört zum ETH-Bereich und verbindet wissenschaftliche Institute mit Industriepartnern, indem es vorwettbewerbliche Forschungsprojekte unterstützt: Die Firma bestimmt dabei die Richtung, dafür wird der Grundlagenforschungsteil der Resultate publiziert. Für Etter ist das kein Problem: «Unsere Betriebsgeheimnisse bleiben gewahrt», schmunzelt der Alstom-Entwicklungsingenieur.



Die Grossforschungsanlagen des PSI

Der Blick auf die ganz kleinen Objekte benötigt besonders grosse Geräte, denn nur sie können die «Sonden» erzeugen, die notwendig sind, um Materie so zu durchleuchten, dass man die gesuchten Informationen gewinnt. Das Paul Scherrer Institut hat von der Schweizerischen Eidgenossenschaft den Auftrag erhalten, mehrere solche Anlagen zu unterhalten. Diese stellt das PSI den Wissenschaftlern von Hochschulen und anderen wissenschaftlichen Einrichtungen sowie der Industrie im Rahmen eines Nutzerdienstes als Dienstleistung zur Verfügung. Das PSI nutzt sie aber auch für eigene Forschung. Die Anlagen sind in der Schweiz einzigartig, manche Geräte gibt es auch weltweit nur am PSI.

Forschen mit grossen Geräten

An den Grossanlagen des PSI werden Neutronen, Myonen und Synchrotronlicht erzeugt. Neutronen und Myonen sind kleine Teilchen, Synchrotronlicht ist Röntgenlicht mit höchster Intensität und einstellbarer Energie. Mit diesen drei «Sonden» kann man Informationen über den Aufbau verschiedenster Materialien gewinnen, wobei jede für bestimmte Experimente besonders gut geeignet ist. Die Benutzer finden am

PSI rund 40 verschiedene Messplätze für ihre Experimente vor.

Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS

Synchrotronlicht ist eine besonders intensive Form von Licht, das in seinen Eigenschaften genau an die Bedürfnisse eines Experiments angepasst werden kann. Mit Synchrotronlicht «durchleuchten» Forschende unterschiedlichste Materialien, um deren detaillierten Aufbau oder die magnetischen Eigenschaften zu bestimmen. Untersucht werden beispielsweise magnetische Materialien, wie sie in modernen Speichermedien verwendet werden, und Proteinmoleküle, die eine wesentliche Rolle bei Vorgängen in lebenden Organismen spielen. Das Synchrotronlicht entsteht an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Es wird hier von Elektronen abgestrahlt, die fast mit Lichtgeschwindigkeit auf einer Kreisbahn von 288 m Umfang laufen, in der sie durch starke Magnete gehalten werden.

Neutronenspallationsquelle SINQ

Mit Neutronen kann man die Anordnung und Bewegung von Atomen in Materialien bestimmen. Da Neutronen sich wie

kleinste Magnete verhalten, eignen sie sich besonders gut zur Untersuchung magnetischer Eigenschaften. In der Natur kommen sie als Bausteine des Atomkerns vor. Am PSI werden sie in der Spallationsquelle SINQ (sprich: sin-ku) aus den Atomkernen herausgeschlagen und so für Experimente verfügbar gemacht.

Myonenquelle μS

Myonen werden vor allem dafür eingesetzt, Magnetfelder im Inneren von Materialien zu bestimmen. Myonen sind Elementarteilchen, die in ihren Eigenschaften den Elektronen ähneln. Sie sind aber deutlich schwerer und vor allem instabil. Zerfällt ein Myon im Inneren eines magnetischen Materials, liefert es Information über das Magnetfeld in den Materialien. Myonen werden am PSI in der Myonenquelle μS (sprich: es-mü-es) erzeugt.

Protonenbeschleunigeranlage

Die Neutronen aus der SINQ, die Myonen aus der μS sowie die Myonen- und Pionenstrahlen für Teilchenphysikexperimente entstehen, wenn ein Strahl schneller Protonen auf einen Block eines speziellen

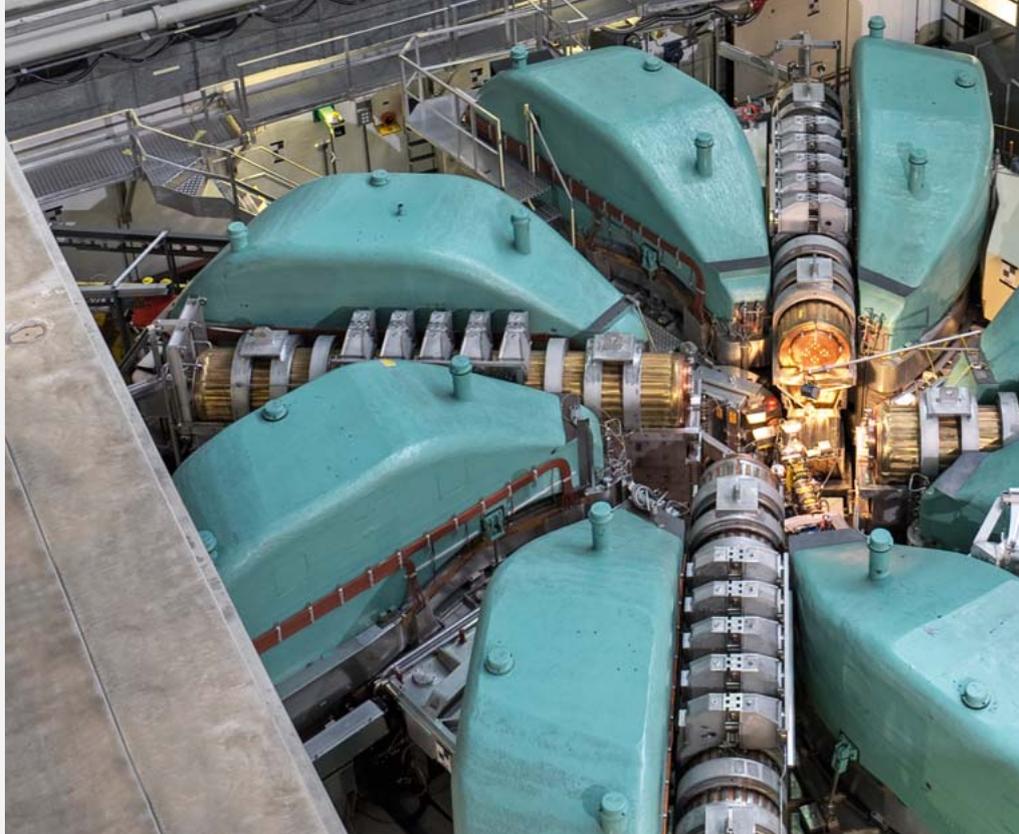
Materials trifft. Der Protonenstrahl wird in der Protonenbeschleunigeranlage des PSI erzeugt. Hier werden die Protonen auf fast 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

Hotlabor, Smogkammer etc.

Neben den eigentlichen Grossanlagen betreibt das PSI eine Reihe von weiteren einzigartigen Forschungsanlagen, die teilweise auch externen Benutzern zur Verfügung stehen. Im Hotlabor können hoch radioaktive Objekte wie Brennstäbe aus Kernkraftwerken unter sicheren Bedingungen untersucht werden. In der Smogkammer werden unter kontrollierten Bedingungen Vorgänge in der Atmosphäre simuliert. Der Solarkonzentrator und Solarsimulator erlauben Experimente zur Erzeugung von Brennstoffen mithilfe von hochkonzentriertem Sonnenlicht. Als neue Anlage wird die Quelle ultrakalter Neutronen UCN Untersuchungen zu den Eigenschaften des Neutrons ermöglichen.

SwissFEL – das Zukunftsprojekt

Zurzeit plant das PSI eine weitere Grossanlage, die im Jahr 2016 in Betrieb gehen wird – den Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL. Diese rund 700 Meter lange Anlage wird extrem kurze Pulse von Röntgenlicht in Laserqualität erzeugen. Damit wird es unter anderem möglich werden, sehr schnelle chemische und physikalische Vorgänge zu verfolgen.



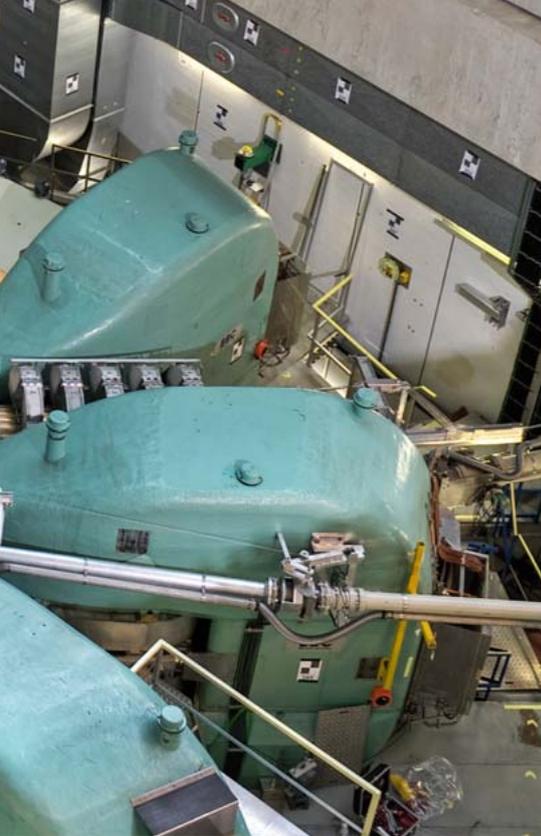
Blick auf den grossen Protonenbeschleuniger, der einen Umfang von rund 48 Metern hat.

Das PSI ist ein Nutzerlabor

Neutronen, Synchrotronlicht und Myonen sind für Forschende vieler Disziplinen äusserst nützlich. Mit diesen «Sonden» lässt sich der Aufbau von Kristallen entschlüsseln. Sie helfen beim Verständnis magnetischer Vorgänge oder klären Strukturen biologischer Materialien auf. Gleichzeitig ist die Erzeugung dieser Sonden mit einem so grossen Aufwand verbunden, dass die meisten Forschergruppen an den Hochschulen und in der Industrie an der eige-

nen Einrichtung keine Neutronen-, Myonen- oder Synchrotronlichtquelle vorfinden werden.

Damit dennoch möglichst viele Forschende Zugang zu Neutronen, Synchrotronlicht oder Myonen erhalten, betreibt das PSI zentral die entsprechenden Grossanlagen: die Neutronenquelle SINQ, die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS und die Myonenquelle μS – eine Kombination von Anlagen, die es weltweit nur noch an einem



Die Messzeit geht an die besten Forschungsprojekte

Sämtliche Forscher und Forscherinnen, die sich durch die Nutzung von Neutronen, Myonen oder Synchrotronlicht Antworten auf ihre wissenschaftlichen Fragestellungen erhoffen, können sich beim PSI um Messzeit bewerben. Dazu müssen sie in einem Antrag die Fragestellung, das geplante Experiment und die Erwartungen an die Messung beschreiben. Mit internationalen Fachleuten besetzte Komitees prüfen diese Messzeitanträge auf ihre wissenschaftliche Qualität und empfehlen dem PSI, welche Anträge tatsächlich Messzeit bekommen sollen. Denn obwohl es rund 40 Messplätze gibt, reicht die Zeit nie für alle eingegangenen Bewerbungen. Rund ein Drittel bis die Hälfte der Anträge muss abgelehnt werden. Manche Messplätze sind in der Forschergemeinde sogar so begehrt, dass dort sechsmal so viel Messzeit beantragt wird, als verfügbar ist. Angezogen werden die externen Forscher und Forscherinnen dabei nicht nur von den Experimentiermöglichkeiten, sondern auch von der guten Betreuung durch die PSI-Forschenden. Diese sind selbst erfahrene Wissenschaftler und unterstützen die Nutzer dabei, an den Anlagen die optimalen Ergebnisse zu erzielen.

Industrie hingegen können in einem besonderen Verfahren auch Strahlzeit kaufen und die Anlagen des PSI für ihre angewandte Forschung verwenden.

Nutzerdienst in Zahlen

Der Erfolg eines Benutzerzentrums zeigt sich vor allem im Interesse der Forschergemeinde, an diesem Ort zu experimentieren, sowie in der Zahl von Veröffentlichungen, die auf den durchgeführten Experimenten beruhen.

So erscheinen jedes Jahr rund 500 Fachartikel, die auf Experimenten an den Grossanlagen des PSI basieren. Und jährlich verzeichnet das PSI etwa 4000 Besuche von Wissenschaftlern aus der ganzen Welt, die an den Grossanlagen ihre Experimente durchführen. Die meisten Nutzer von Neutronen und Synchrotronlicht kommen aus der Schweiz und den Ländern der EU. Die Schweizer Experimentatoren teilen sich wiederum etwa gleichmässig auf das PSI und andere Einrichtungen auf, wobei die meisten externen Forscher von der ETH Zürich kommen. Vertreten sind aber auch die ETH Lausanne, die Universitäten und die Empa. Im Fall der Myonenexperimente ist der Anteil der Gruppen aus Übersee besonders gross. Eine Rolle spielt hier sicher die Tatsache, dass das PSI als einziges Institut weltweit Experimente mit langsamen Myonen anbietet.

weiteren Ort gibt. Das Institut stellt diese Anlagen nicht nur den eigenen Wissenschaftlern, sondern auch externen Benutzern zur Verfügung – Forschenden aus der Schweiz und dem Ausland, die diese Sonden für ihre Untersuchungen benötigen.

An den Grossanlagen sind auch noch Teilchenstrahlen verfügbar, die für Experimente in der Elementarteilchenphysik genutzt werden können – auch diese stehen externen Forschern offen.

Die Messzeit ist am PSI für alle akademischen Forschenden kostenlos – genauso wie Schweizer Wissenschaftler auch kostenlos an den Einrichtungen in anderen Ländern forschen können. Nutzer aus der

Die Forschungsschwerpunkte des PSI

Das Paul Scherrer Institut PSI ist das grösste naturwissenschaftliche Forschungszentrum der Schweiz. Rund 400 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erforschen verschiedenste Fragestellungen, die sich unter den drei Stichworten «Materie und Material», «Mensch und Gesundheit» sowie «Energie und Umwelt» zusammenfassen lassen.

Die am PSI gewonnenen Forschungsergebnisse tragen dazu bei, dass wir die Welt um uns besser verstehen können, indem sie die Hintergründe unterschiedlichster physikalischer oder biologischer Vorgänge aufklären. Gleichzeitig stellen sie die Grundlagen für neue Entwicklungen in Technik und Medizin dar.

Materie und Material

Die meisten Forschenden, die sich am PSI mit Materie oder Material befassen, wollen für unterschiedliche Stoffe den Zusammenhang zwischen dem innerem Aufbau und den beobachtbaren Eigenschaften aufklären. Denn die vielfältigen Eigenschaften der Materialien, aus denen die Welt besteht, werden dadurch bestimmt, aus welchen Atomen die Materialien bestehen, wie diese angeordnet sind und wie sie sich bewegen können.

So geht es zum Beispiel darum zu verstehen, warum manche Materialien supra-leitend sind – elektrischen Strom also ganz ohne Widerstand leiten können – oder wie die magnetischen Eigenschaften von Materialien zustande kommen. Diese Erkenntnisse können für verschiedene technische Entwicklungen genutzt werden, um bessere elektronische Bauteile zu entwickeln.

Die Forschenden des Labors für Teilchenphysik interessieren sich für die fundamentale Frage nach den Grundstrukturen der Materie. Dazu untersuchen sie Aufbau und Eigenschaften der Elementarteilchen – der kleinsten Bausteine der Materie. Damit treiben sie Forschung, die den Bogen vom Urknall zur heute vorgefundenen Materie mit ihren Eigenschaften spannt.

Mensch und Gesundheit

Wesentliche Vorgänge in lebenden Organismen auf molekularer Ebene zu verstehen und neue Methoden zur Diagnose und Behandlung von Krankheiten zu entwickeln, sind die Ziele der Forschung auf dem Gebiet «Mensch und Gesundheit».

Im Mittelpunkt der Forschung zu biologischen Grundlagenfragen steht die Bestimmung von Struktur und Funktion von Proteinen – Biomolekülen, die in vielfältiger

Weise das Verhalten von lebenden Zellen steuern. Auf dem Gebiet der Radiopharmazie entwickeln Forschende des PSI Therapiemoleküle, mit denen sehr kleine und im ganzen Körper verteilte Tumore behandelt werden sollen. Hier arbeitet das PSI sehr eng mit Hochschulen, Kliniken und der Pharmaindustrie zusammen.

Seit 1984 werden an der Protonentherapieanlage des PSI Patienten behandelt, die an bestimmten Tumorerkrankungen leiden. Die Anlage, die PSI-Fachleute entwickelt und auf dem Institutsgelände gebaut haben, ist weltweit einmalig. Ihre Bestrahlungstechnik nutzt die Vorteile der Protonen, die es erlauben, den Tumor gezielt zu zerstören und die gesunde Umgebung des Tumors optimal zu schonen. In Absprache mit der medizinischen Abteilung des PSI können Ärztinnen und Ärzte Patienten und Patientinnen zur Behandlung ans PSI überweisen.

Energie und Umwelt

Die Energieforschung des Paul Scherrer Instituts konzentriert sich auf die Erforschung von Prozessen, die in nachhaltigen und sicheren Technologien für eine möglichst CO₂-freie Energieversorgung eingesetzt werden können.

PSI-Forschende arbeiten an Verfahren zur CO₂-neutralen Erzeugung von Energieträgern – sei es mithilfe hochkonzentrierter Sonnenstrahlung, sei es auf Grundlage von Biomasse wie etwa Holz, Gülle oder Klärschlamm. Für eine nachhaltige Energienutzung ist auch die Möglichkeit, Energie zu speichern, wesentlich. Das PSI beteiligt sich an dieser Forschung insbesondere mit seinen Arbeiten zu Lithium-Ionen-Batterien. Ein weiteres Forschungsthema sind Brennstoffzellen, die aus der Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff elektrische Energie und als «Abfallprodukte» Wasser und Wärme erzeugen. Hier unterhält das PSI u.a. eine Kooperation mit der Firma Belenos Clean Power AG.

Ein wichtiges Thema der Energieforschung am PSI sind Arbeiten zur sicheren Nutzung der Kernenergie. Ein Schwerpunkt der Forschung ist dabei, die Vorgänge in Kernkraftwerken noch besser zu verstehen, um so zu deren sicherem Betrieb beizutragen. Hinzu kommen geologische Untersuchungen, die Grundlage für die Suche nach geeigneten Standorten für die Lagerung radioaktiven Abfalls sein sollen.

Über Untersuchungen zu einzelnen Energietechnologien hinaus, widmen sich Forschende des PSI auch der ganzheitlichen Betrachtung und dem Vergleich von nuklearen, fossilen und erneuerbaren Energiesystemen.

Die Umweltforschung am PSI befasst sich vorrangig mit der Zusammensetzung der Atmosphäre und den Prozessen, die diese Zusammensetzung bestimmen. Dazu misst das PSI etwa auf dem Jungfraujoch oder untersucht Eisbohrkerne. Insbesondere der menschliche Einfluss auf die Atmosphärenzusammensetzung sowie die Entwicklung des Klimas in den vergangenen Jahrhunderten ist für die Forscher von Interesse.

Darüber hinaus leitet das PSI das Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität CCEM des ETH-Bereichs (www.ccem.ch).

In der Halle der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS.



Das PSI im Überblick

Ausgaben 2010

Die Ausgaben des PSI beliefen sich 2010 auf 329,2 Mio. Franken:

Die Finanzen des PSI (Mio. Franken)

| Ausgaben | Betrag | % |
|----------------------------|--------------|--------------|
| Betrieb | 272,5 | 82,8 |
| Investitionen | 56,7 | 17,2 |
| Gesamt* | 329,2 | 100,0 |
| <i>Mittelaufteilung</i> | | |
| Finanzierungsbeitrag Bund | 241,7 | 73,4 |
| Drittmittelausgaben | 87,5 | 26,6 |
| Drittmiteleinnahmen | | |
| Privatwirtschaft | 28,8 | 39,4 |
| Forschungsförderung Bund | 23,1 | 31,6 |
| EU-Programme | 5,3 | 7,2 |
| Andere Einnahmen | 15,9 | 21,8 |
| Gesamt | 73,1 | 100,0 |

*inklusive Personalausgaben von 208,9 Mio. Franken (63,4% der Gesamtausgaben), wovon 16,4 Mio. Franken in die Investitionsrechnung geflossen sind.

Die Ausgaben verteilen sich auf die Forschungsfelder des Paul Scherrer Instituts wie folgt:

| | |
|--|-----|
| Festkörperforschung und Materialwissenschaften | 38% |
| Allgemeine Energie | 19% |
| Lebenswissenschaften | 16% |
| Nukleare Energie und Sicherheit | 15% |
| Teilchenphysik | 12% |

Personal

Die Mitarbeiterzahl am PSI entsprach Ende 2010 rund 1400 Vollzeitstellenäquivalenzen. Davon entfielen 481 Stellen auf wissenschaftliches Personal. Hinzu kommen 197 angestellte Doktorierende, die in der Gesamtmitarbeiterzahl noch nicht berücksichtigt sind. 726 Stellen sind mit Mitarbeitenden besetzt, die technische oder Ingenieurstätigkeiten ausführen. Mit ihrer vielfältigen Kompetenz sorgen sie dafür, dass die vorhandenen wissenschaftlichen Anlagen des Instituts stets zuverlässig funktionieren und neue plangemäss aufgebaut werden. Damit haben sie wesentlichen Anteil an den wissenschaftlichen Leistungen des Instituts. 91 Stellen sind der Administration zugeordnet. 23,4 Prozent der Mitarbeitenden sind Frauen, 44 Prozent sind ausländische Staatsbürger.

Organisation

Das Paul Scherrer Institut ist in sieben Bereiche gegliedert. Die fünf Forschungsbereiche sind für den grössten Teil der wissenschaftlichen Arbeiten und die Betreuung der externen Nutzer zuständig. Bei ihrer Arbeit werden sie von den beiden Fachbereichen unterstützt, die für den Betrieb der Beschleunigeranlagen und verschiedene technische und administrative

Dienste zuständig sind. Ausserhalb der Bereichsstruktur befinden sich das Zentrum für Protonentherapie und das Grossprojekt SwissFEL. Geleitet wird das PSI von einem Direktorium, an dessen Spitze der Direktor des Instituts steht und dem der Stabschef und die Bereichsleiter angehören.

Beratende Organe

Eine interne Forschungskommission berät die PSI-Direktion bei wissenschaftsrelevanten Entscheidungen. Sie beurteilt geplante neue Vorhaben und Finanzierungsanträge an externe Geldgeber wie beispielsweise den Schweizerischen Nationalfonds SNF, die Förderagentur für Innovation KTI oder die Europäische Union. Sie evaluiert laufende Projekte und arbeitet bei der Identifizierung von geeigneten neuen Forschungsthemen für das PSI mit. Sie setzt sich aus 13 Mitarbeitenden der verschiedenen Bereiche des PSI zusammen. Ein- bis zweimal im Jahr tagt der PSI-Beratungsausschuss, dem 11 Forschende mit hohem wissenschaftlichem Ansehen aus dem In- und Ausland angehören. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, die Direktion in Fragen der Entwicklung grösserer Forschungsprogramme und -vorhaben strategisch zu beraten und die Qualität der durchgeführten und der geplanten Forschungsaktivitäten zu beurteilen.

PAUL SCHERRER INSTITUT



Das Paul Scherrer Institut PSI ist ein Forschungszentrum für Natur- und Ingenieurwissenschaften. Am PSI betreiben wir Spitzenforschung in den Bereichen Materie und Material, Mensch und Gesundheit sowie Energie und Umwelt. Durch Grundlagen- und angewandte Forschung arbeiten wir an nachhaltigen Lösungen für zentrale Fragen aus Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft. Mit rund 1400 Vollzeitstellenäquivalenten sind wir das grösste schweizerische Forschungsinstitut. Wir entwickeln, bauen und betreiben komplexe Grossforschungsanlagen. Jährlich kommen rund 2000 Gastwissenschaftler aus der Schweiz, aber auch aus der ganzen Welt zu uns. Genauso wie die Forscherinnen und Forscher des PSI führen sie an unseren einzigartigen Anlagen Experimente durch, die so woanders nicht möglich sind.