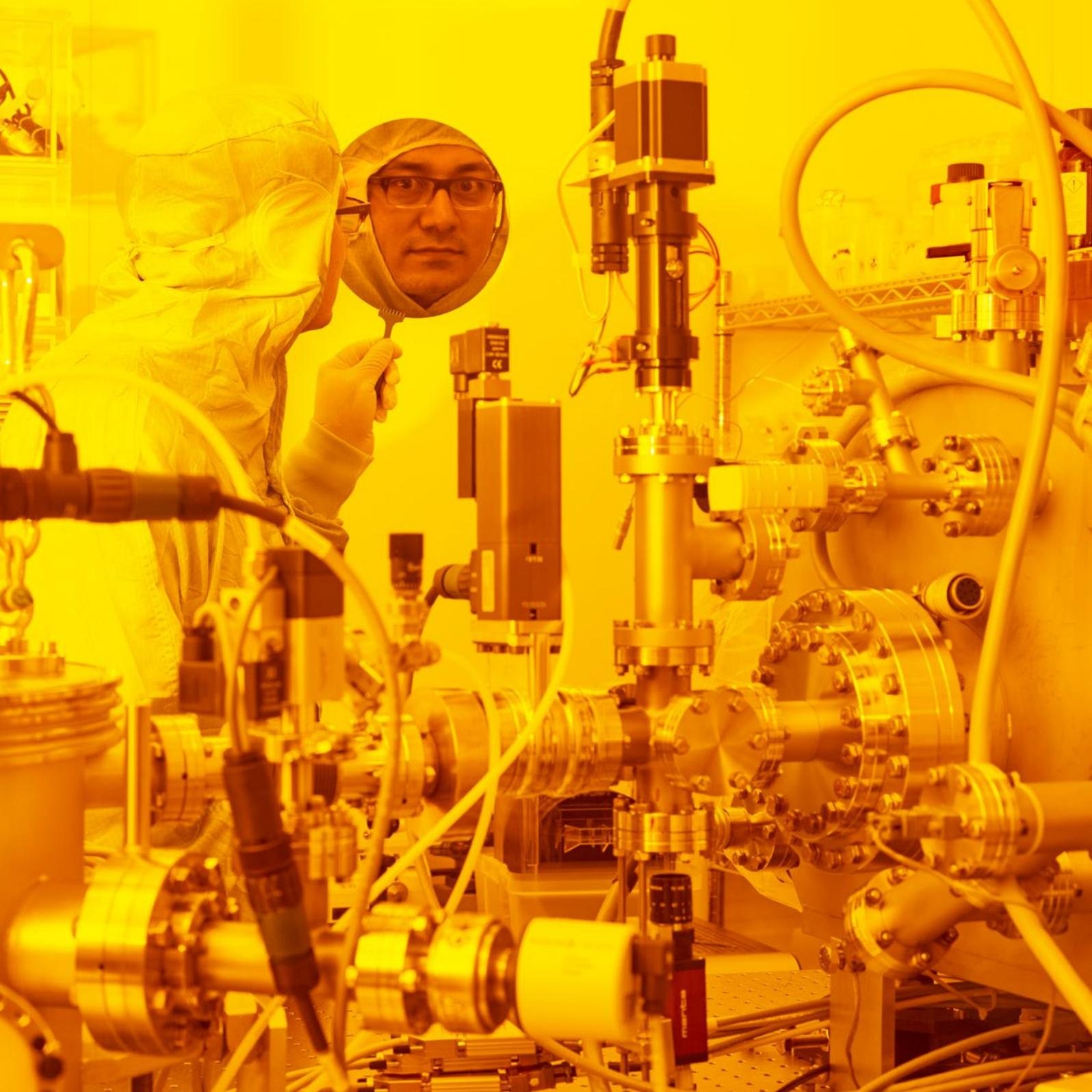




# Fenster zur Forschung





# Inhalt

5	Der Nutzen der Kooperation
6 / 7	In Kürze: Gut aufgestellt Nanolinien Video-Trainer Geöffnet!
8 / 9	Damit die Brennstoffzelle atmet
10 – 12	Perfekte Strahllinien merkt man nicht
13 – 15	Robustes Röntgengerät
16 / 17	Das Gleichgewicht der Fotosynthese
18 / 19	Die Vermesserin der Gesteinsporen
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



## Der Nutzen der Kooperation

### Sehr geehrte Leserin Sehr geehrter Leser

Tief unter der Stadt Hamburg entsteht gerade der 3,4 Kilometer lange Röntgenlaser European XFEL. Wenn hier in zwei Jahren Forschende den Eigenschaften von Materialien und Biomolekülen auf den Grund gehen, werden sie ihre genauen Messergebnisse unter anderem Detektoren verdanken, die am Paul Scherrer Institut PSI entwickelt wurden. Der European XFEL ist ein grosses Projekt, das nur in der Zusammenarbeit vieler Länder entstehen kann. Die Schweiz ist als Partner dabei; PSI-Fachleute leisten mit ihrer Arbeit einen grossen Teil des Schweizer Beitrags.

Immer wieder werde ich gefragt, wie sinnvoll es ist, dass die Schweiz sich an

derartigen Projekten beteiligt. Schliesslich betreibt das PSI eigene Grossforschungsanlagen, im nächsten Jahr kommt mit dem Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL eine weitere hinzu.

Ich bin überzeugt, dass es sinnvoll ist. Zunächst profitieren Schweizer Forschende von der Zusammenarbeit: Sie bringen nicht nur ihre Ideen ein, sondern lernen auch von Kollegen aus anderen Ländern und können ihre neuen Erfahrungen am PSI einsetzen. Oft kommen Entwicklungen, die ein solches Grossprojekt erfordert, am Ende der Schweizer Forschung zugute. So stammt die Grundidee für die oben erwähnten Detektoren aus einem Entwicklungsprojekt des PSI für das CERN. Heute wird diese Technologie an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS genutzt und in Zukunft auch

am SwissFEL und European XFEL. Und nicht zuletzt werden Schweizer Forschende an den neuen Anlagen bestimmte Experimente durchführen können, für die die Schweizer Anlagen nicht ausgelegt sind.

Man kann die Schweizer Beteiligung aber auch anders begründen: Wissenschaft bietet einen Ort, an dem sich Menschen aus verschiedenen Ländern begegnen. Als 1954 das CERN gegründet wurde, sollte die gemeinsame Forschung Völker verbinden, die noch kurz zuvor Krieg geführt hatten. Vor einigen Jahren haben mehrere europäische Länder die Initiative für die Synchrotronlichtquelle SESAME ergriffen, die demnächst in Jordanien ihren Betrieb aufnehmen soll und an der die meisten Länder der Region beteiligt sind. Die Schweiz hat bei dem Projekt Beobachterstatus; das PSI bringt an unterschiedlichen Stellen seine fachliche Kompetenz ein. Ein Ziel des Projekts lautet: «Wissenschaftliche und kulturelle Brücken zwischen unterschiedlichen Gesellschaften aufzubauen und durch die wissenschaftliche Zusammenarbeit zu einer Kultur des Friedens beizutragen.»

So kann man die Mitarbeit an den internationalen Forschungsanlagen auch im Lichte der traditionellen Guten Dienste der Schweiz sehen, deren Ziel es ist, Begegnung und Austausch möglich zu machen – auch und gerade da, wo dies schwierig ist.

Professor Dr. Joël Mesot  
Direktor Paul Scherrer Institut

## Gut aufgestellt

Die Gründung der Träger- und Betreiber-gesellschaft «innovAARE AG» im Mai war ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zur erfolgreichen Realisierung des PARK innovAARE. Der Park wird ein Standort des Schweizerischen Innovationsparks im Kanton Aargau. Der Schweizerische Innovationspark soll dazu beitragen, die führende Rolle der Schweiz als Innovationsnation zu sichern und damit ihre Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Neben der Privatwirtschaft sind als öffentliche Träger der Kanton Aargau, das Paul Scherrer Institut PSI, die Fachhochschule Nordwestschweiz sowie die Standortgemeinden Villigen und Würenlingen im Aktionariat der innovAARE AG vertreten. Als Präsident des Verwaltungsrats konnte der CEO der AEW Energie AG Hubert Zimmermann gewonnen werden.



Das «Delivery LAB», erstes Gebäude des PARK innovAARE. Hier hat die innovAARE AG ihren Sitz und bietet den ersten angesiedelten Unternehmen Raum.

Seit September ist der PARK innovAARE mit einem Pavillon, dem sogenannten «Delivery LAB», direkt an der Kantonsstrasse auf dem Campus des Paul Scherrer Instituts, auch unmittelbar sichtbar. An diesem Standort mit seinen rund 400 Quadratmeter Büro- und Kommunikationsflächen nimmt die innovAARE AG ihre Geschäftstätigkeit vor Ort auf und erhält auch die Möglichkeit, erfolgreiche Projekte zu präsentieren. Es haben sich bereits die ersten Forschungsunternehmen im Delivery LAB angesiedelt.

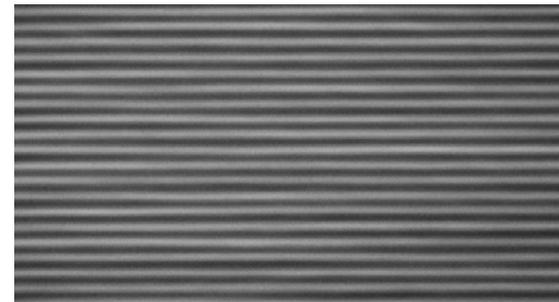
Die Fertigstellung der ersten Etappe der definitiven Infrastruktur des PARK innovAARE ist für das Jahr 2018 geplant.



Eine Liste der Verwaltungsratsmitglieder und der Gründungsaktionäre findet sich auf <http://bit.ly/1NKcq9H>.

## Nanolinien

Die Herstellung von immer schnelleren und effizienteren Computern und Mobiltelefonen erfordert, dass die verschiedenen Komponenten der verwendeten Computerchips, wie elektrische Leitungen oder Transistoren, immer kleiner werden. Diese werden dabei nicht als getrennte Bauteile aufgelötet, sondern als feine Strukturen innerhalb der Silizium-Scheibe erzeugt, die die Grundlage des Chips bildet. So ergibt sich eine konstante Herausforderung, neue



Forschende des PSI haben in einem Halbleitermaterial ein regelmässiges Muster aus 7 Nanometer breiten, parallelen Linien erzeugt (1 Nanometer ist ein Millionstel eines Millimeters). Damit haben sie einen wichtigen Schritt auf dem Weg zu noch kleineren Computerbauteilen gemacht. Strukturen dieser Grösse sieht die Industrie als Standard für das Jahr 2028 vor. (*Nanoscale*, 2015, **7**, 4031–4037; DOI: 10.1039/C4NR07420C – Abdruck mit Genehmigung von The Royal Society of Chemistry)

Technologien zu entwickeln, mit denen sich noch feinere Muster in der Silizium-Oberfläche erzeugen lassen. Wissenschaftlern des Paul Scherrer Instituts PSI ist es nun gelungen, hier einen weiteren wichtigen Meilenstein zu setzen: Sie haben in einem Halbleitermaterial ein regelmässiges Muster aus 7 Nanometer breiten, parallelen Linien erzeugt – 1 Nanometer ist ein Millionstel eines Millimeters, 7 Nanometer entsprechen der Grösse einzelner grösserer Moleküle in unseren Zellen, die kleinsten Viren sind 15 Nanometer gross, Bakterien deutlich grösser. Die Industrie sieht Strukturen dieser Grösse als Standard für das Jahr 2028 vor. Die Linien wurden mit EUV-Licht (Extremes Ultraviolett-Licht) an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI erzeugt.

## Video-Trainer

Physio- und Ergotherapeuten des Universitätsspitals Zürich (USZ) wollen untersuchen, ob sich durch bestimmte Bewegungsübungen die allgemeine Verfassung von Patienten nach einer Herzoperation verbessern lässt. Wie verhält es sich mit der Muskelkraft, wie mit neuronaler Aktivierung und kognitiver Aufmerksamkeit der Patienten?

Die Ausgangsbasis für diese Studie bildete ein Video-Trainings-Spiel. Wie aber sollte ein Patient auf der Intensivstation dieses Spiel in liegender Position mit Händen und Füssen bedienen? Es gab hierfür keine vorgefertigte Technologie, und so wandten sich die Wissenschaftler des USZ auf der Suche nach einer Lösung an das Paul Scherrer Institut PSI.

Berufslernende des PSI entwickelten daraufhin den Prototyp eines Video-Trainers für



Berufslernende des PSI haben in Teamwork einen Video-Trainer für das Universitätsspital Zürich gebaut. Das Gerät wird am Fussende des Bettes platziert. Die Patienten folgen den Anweisungen auf dem Bildschirm und betätigen die unterhalb davon angebrachten Fusspedale.

Herzpatienten. Ein Projektteam aus Lernenden der Berufe Konstrukteur, Polymechanikerin, Elektroniker und Kauffrau war für die Planung und Entwicklung verantwortlich. Die zuständigen Berufsbildner standen ihnen beratend zur Seite.

Das USZ war bereits von der Konzeption überzeugt und dann sowohl von dem realisierten Video-Trainer als auch von dem dazugehörigen Benutzerhandbuch. Zufrieden mit dem Endergebnis waren auch die Lernenden. Sie konnten in diesem berufsübergreifenden Projekt vielfältige Erfahrungen sammeln in Bezug auf Konzeption, Risikoanalyse, Beachtung von Budgetvorgaben und Zeitrahmen. Als besonders bereichernd empfanden sie die Zusammenarbeit untereinander und die Kooperation mit den Mitarbeitern des USZ.

## Geöffnet!

Am Sonntag, dem 18. Oktober 2015, öffnet das grösste Forschungszentrum der Schweiz von 10 bis 17 Uhr seine Türen. Die Bevölkerung erhält die exklusive Gelegenheit, die Spitzenforschung des Paul Scherrer Instituts PSI und die Labors, in denen sie entsteht, live zu erleben.

Weshalb haben winzige Staubpartikel eine globale Wirkung? Welche Moleküle sind für das Sehen verantwortlich? Warum können Archäologen von der Spallations-Neutronenquelle profitieren? Weshalb ist die Tumorbehandlung mit Protonen

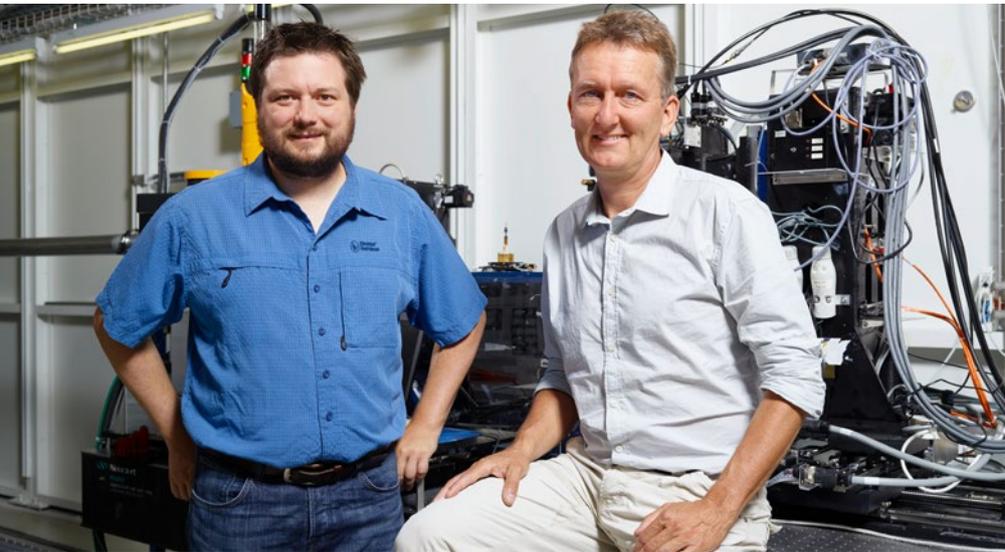


Unter dem Motto «Am Puls der Forschung» öffnet das PSI am 18. Oktober 2015 seine Tore für die Öffentlichkeit. Weitere Informationen unter [www.psi.ch/tdot](http://www.psi.ch/tdot).

so einzigartig? Kann der Energiespeicher Wasserstoff helfen, unseren steigenden Energiebedarf zu decken? Was erforscht die Teilchenphysik? Warum ist unser Planet für den neuen Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL, dessen Tunnel am Tag der offenen Tür für die Besucher geöffnet sein wird, zu stark gekrümmt? Wofür ist ein 2000 PS starker Maybach-Dieselmotor jederzeit einsatzbereit? Diese und weitere Fragen werden die engagierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des PSI am 18. Oktober 2015 beantworten. Ausserdem unterhält auf der Open-Air-Bühne das Physiker-Duo «Stella Nova» mit einer Physik-Show. Im grossen Hörsaal erleben die Besucherinnen und Besucher, welche Physik sich hinter den James-Bond-Filmen verbirgt. Und anlässlich einer Experimentalvorlesung besteht die Gelegenheit, in die faszinierende Welt von Feuer, Rauch und Licht einzutauchen.

## Wasser mit Neutronen und Röntgenlicht abbilden

# Damit die Brennstoffzelle atmet



Die Forscher Pierre Boillat (links) und Felix Büchi in der Strahllinie TOMCAT der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Hier entstehen die dreidimensionalen Röntgenbilder der durch flüssiges Wasser verstopften Poren in der Brennstoffzelle.

Brennstoffzellen erzeugen aus den Gasen Wasserstoff und Sauerstoff Wärme und Strom, die man zum Heizen, zum Aufwärmen von Wasser für Bad und Küche oder für den Betrieb von Autos und Elektrogeräten verwenden kann. Im Jahr 2013 zeigte ein asiatischer Hersteller das erste serienreife Auto, das mit Strom aus Brennstoffzellen angetrieben wurde. Wärme und Strom

gleichzeitig liefern Brennstoffzellengeräte, die in Japan seit 2009 mit staatlicher Unterstützung in mehr als 100'000 Haushalten installiert worden sind.

Als einziges Produkt der in Brennstoffzellen laufenden Reaktionen entsteht reines Wasser. Das macht die Brennstoffzelle, wenn der Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen stammt, zu einer sauberen Tech-

nik. Forschende des Paul Scherrer Instituts PSI arbeiten deshalb seit mehr als 20 Jahren an dieser Technologie. Und sie haben bereits wichtige Grundlagen für deren Weiterentwicklung geschaffen.

Ein wichtiges Thema, an dem die PSI-Wissenschaftler arbeiten, ist gerade das in der Zelle produzierte Wasser. Wasser ist in einer Brennstoffzelle Fluch und Segen zugleich. Zu viel Wasser am falschen Ort in der Zelle kann deren Funktion stören, weil es den Durchfluss der Gase verhindert, die die Zelle zum «Atmen» braucht. Diese Gase – in der Wasserstoff-Brennstoffzelle sind das Wasserstoff und Luft – werden von aussen auf getrennten Wegen an die Elektroden der Zelle geleitet, an deren Oberfläche sie reagieren. Der Weg der Gase führt erst über Kanäle und durch ein poröses Kohlenstofffasermaterial. Auf der Wasserstoff-Seite wird dann der Wasserstoff aufgespalten und Elektronen freigesetzt, die als Strom durch einen Draht fließen können. Zurück bleiben hier die «nackten», um ihre Elektronen gebrachten Wasserstoffkerne, Protonen genannt. Auf der Sauerstoff-Seite kombinieren sich diese Protonen mit Sauerstoffatomen und Elektronen zu Wasser. Damit sich die Gase nicht vermischen und unkontrolliert reagieren, sind die Elektroden

durch eine Kunststoffmembran voneinander getrennt. Diese Membran lässt hingegen die Protonen von einer Elektrode zur anderen hindurchwandern und ermöglicht so den Ablauf der elektrochemischen Reaktionen in der Zelle. Die Protonen können die Membran nur dann durchqueren, wenn diese feucht ist. Sie sind wie Fische, die Wasser brauchen, um durch die Membran zu «schwimmen». Außerhalb der Membran ist Wasser aber unerwünscht. Es verstopft die Poren, durch die die Gase an die Elektroden gelangen. Wenn die Gaszufuhr der Zelle stockt, sinkt ihre Leistung. Der Betrieb der Zelle wird zudem instabil und sie altert schneller.

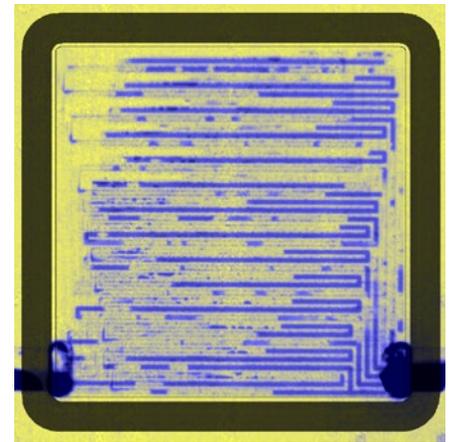
### Dem Wasser in der Brennstoffzelle zuschauen

Zwei Forschungsgruppen aus dem Labor für Elektrochemie des PSI arbeiten mit sich gegenseitig ergänzenden Methoden an Lösungen für das Problem des flüssigen Wassers. Beide machen sich PSI-eigene Grossforschungsanlagen zunutze. «Unser gemeinsames Ziel ist es, flüssiges Wasser in den Brennstoffzellen sichtbar zu machen. Aus diesen Abbildungen wollen wir lernen, wie man das flüssige Wasser noch effizienter aus den Zellen entfernen kann», sagt Felix Büchi, der in seiner Gruppe das Wasser in den Zellen mit Röntgenlicht abbildet. «Es gibt verschiedene Stellschrauben, an denen man drehen kann, um das Wasser-Problem zu lösen», fügt Pierre Boillat hinzu, der wiederum mit seinem Team Neutronen zur Abbildung von Wasser verwendet. «Man kann», erklärt Boillat weiter, «etwa die Oberflächen der Materialien in der Brennstoffzelle wasserliebend machen, sodass das Wasser sich in Form von dünnen

Filmen an diese Oberflächen anschmiegt, statt als Tropfen darauf zu liegen.» Dünne Wasserfilme stören den Durchfluss der Gase weniger als dicke Tropfen. Oder man kann die Form der Kanäle so ändern, dass es darin möglichst nicht zum «Wasserstau» kommt. Eine wichtige Erkenntnis aus der Abbildung von Wasser in der Brennstoffzelle war, dass Wasser sich gerne in den Biegungen der ursprünglich üblichen gewinkelten Gaskanäle anstaut. «Diese Erkenntnis gewann man dank Neutronenbildgebung», sagt Boillat. Seitdem sind die gewinkelten Gaskanäle in Brennstoffzellen geraden «Gasleitungen» gewichen. Eine weitere Strategie setzt auf Optimierung der porösen Kohlenstoffmaterialien.

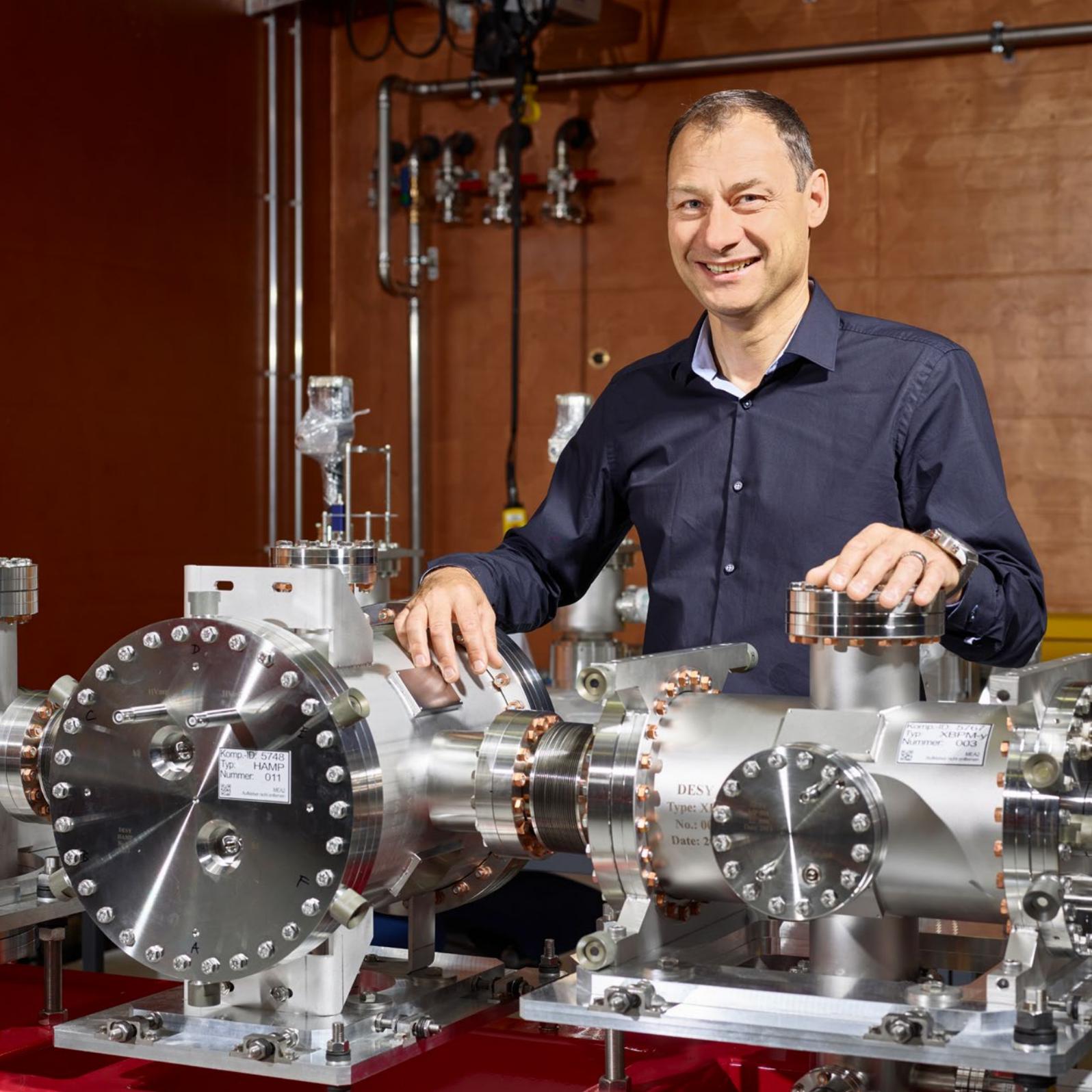
### Der doppelte Blick: Röntgenlicht und Neutronen

Neutronen und Röntgenlicht bieten verschiedene Möglichkeiten zur Abbildung von Wasser in Brennstoffzellen. PSI-Wissenschaftler können das Wasser in den Gaszufuhrkanälen in sehr kontrastreichen Bildern sichtbar machen, indem sie einen Neutronenstrahl aus der Spallationsneutronenquelle SINQ auf die zu untersuchenden Brennstoffzellen lenken. Das liegt daran, dass die Wasserstoffatome im Wasser im Gegensatz zu anderen Materialien in der Zelle die Neutronen stark ablenken. Daher kann man mit Neutronen das Wasser sogar hinter den Metallteilen eines Brennstoffzellengeräts abbilden. Anders bei Röntgenlicht, das von diesen Metallen stark absorbiert wird: Für die Untersuchungen an der SLS müssen deshalb spezielle Zellen hergestellt werden. Das Röntgenlicht ermöglicht dafür gestochen scharfe dreidimensionale



Mit Neutronen aus dem PSI erstelltes Bild einer Brennstoffzelle, das in einem Projekt mit der Firma ElringKlinger entstanden ist. In Blau ist das flüssige Wasser zu sehen, das sich in den Gaszufuhrkanälen der Zelle angestaut hat. Solche Bilder helfen bei der Weiterentwicklung von Brennstoffzellen, indem sie dazu beitragen, das Problem des «Wasserstaus» zu lösen. (Quelle: ElringKlinger AG, Dettingen/Erms, Deutschland)

Bilder des Wassers in den porösen Materialien kurz vor den Elektroden. Die Poren dieser Materialien sind so winzig, dass man sie mit Neutronen gar nicht sichtbar machen kann. Mit beiden Techniken können die PSI-Forschenden nicht nur die statische Verteilung, sondern auch die Bewegungen des Wassers unter realistischen Betriebsbedingungen einer Brennstoffzelle erfassen. Das PSI ist somit der einzige Ort der Welt, an dem diese zwei Methoden zur Abbildung von Wasser in Echtzeit gepaart mit der umfassenden Brennstoffzellen-Expertise eines Labors für Elektrochemie zur Verfügung stehen. Wenn irgendwo Wasserstoff-Brennstoffzellen ein Auto oder eine Heizung antreiben, dann könnte dahinter auch ein kleiner Teil PSI-Forschung stecken.



Komp.-ID: 5748  
Typ: HAMP  
Nummer: 011

PORTAL-03-21702  
Typ: XEF-M-V  
Nummer: 003

DESY  
Type: X  
No.: 0  
Date: 2

## Interview mit Luc Patthey

# Perfekte Strahllinien merkt man nicht

**Am PSI wird gerade der Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL gebaut. Sie sind für das Design und die Umsetzung seiner Strahllinien verantwortlich. Was ist eine Strahllinie und wofür braucht man sie?**

Der SwissFEL wird Röntgenlichtpulse erzeugen, die uns ganz neue Möglichkeiten zu forschen eröffnen. Mit den Strahllinien werden diese Pulse zum Experiment transportiert. Dabei werden sie über Spiegel in die richtige Richtung gelenkt und auch je nach Anforderun-

gen des Experiments in die benötigte Form gebracht, zum Beispiel kann man sie fokussieren oder ihre Wellenlänge innerhalb eines vorgegebenen Bereichs variieren.

Jeder der rund 100 Röntgenlichtpulse, die der SwissFEL pro Sekunde erzeugt, ist anders. Um die für die Experimente erforderlichen Eigenschaften sicherzustellen, werden sie daher zudem Puls für Puls so exakt wie möglich vermessen. Auch wird die Ankunftszeit der Röntgenlichtpulse bei der Strahllinie erfasst.

**Warum ist es wichtig, die Ankunftszeit der Röntgenlichtpulse bei der Strahllinie zu wissen?**

Man benötigt diese Information für bestimmte Experimente, bei denen ein konventioneller Laser in einer Probe jenen Vorgang aktiviert, den man untersuchen will; wenige Femtosekunden später durchleuchtet sie dann ein Röntgenlaser-Puls. Damit kann man herausfinden, was sich in diesen Femtosekunden in der Probe getan hat. Zum Beispiel kann man so chemische Reaktionen beobachten, die für bisherige Untersuchungsmethoden einfach zu schnell waren.

Hier die beiden Laser mit der geforderten Exaktheit zeitlich aufeinander abzustimmen ist eine immense Herausforderung. Damit Sie sich die zeitlichen Dimensionen, mit denen wir es hier zu tun haben, vorstellen können: Eine Femtosekunde ist die Zeit, die das Licht braucht um 0,0003 Millimeter zurückzulegen.

**Betreffen diese hohen Anforderungen an Exaktheit nur die Anlage selbst oder auch das Gebäude für die Anlage?**

Auch das Gebäude. Wegen dieser Anforderungen an die zeitliche Abstimmung darf im Strahlkanal die Temperatur um höchstens 0,1 Grad von 24 Grad Celsius abweichen. Schon die kleinste, durch Temperaturschwankungen verursachte Materialausdehnung bzw. -schrumpfung würde unser «Zeitmanagement» durcheinanderbringen und unsere Experimente vereiteln.

**Wenn schon kleinste Materialveränderungen ein Problem sind: Hat dann die Diagnostik oder die Strahllenkung mit all ihren Komponenten nicht ebenfalls ein gewisses Störpotenzial?**

Unsere Aufgabe ist zu schauen, dass hier nichts passiert. Die Qualität der Röntgen-

### Zur Person

Luc Patthey promovierte in Physik an der Universität Lausanne. Nach einer kurzen Zwischenstation an den Universitäten Uppsala und Fribourg kam er zur Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS ans Paul Scherrer Institut PSI, wo er zuletzt die Spektroskopie-Gruppe leitete. Seit 2012 ist er als Teilprojektleiter «Photon Beamlines & Instrumentation» für die SwissFEL-Strahllinien verantwortlich.



Damit die Experimente am SwissFEL gelingen, muss sichergestellt werden, dass die Röntgenlichtpulse die für die Experimente erforderlichen Eigenschaften erfüllen. Zum Beispiel ermittelt das abgebildete Gerät die genaue Position der einzelnen Röntgenlichtpulse.

pulse und ihrer zeitlichen Abfolge darf auf keinen Fall beeinträchtigt werden. Die perfekte Strahllinie merkt man nicht. Sie müssen sie sich wie eine Brille vorstellen: Wenn man eine Brille benutzt, sieht man die Brillengläser auch nicht. Das hat natürlich Auswirkungen auf die Genauigkeit, mit der wir die Komponenten für die Strahllinien bauen müssen.

### Wie genau müssen die Komponenten denn sein?

Nehmen wir die eingangs erwähnten Spiegel zur Lenkung der Röntgenpulse: Sie sind rund achtzig Zentimeter lang, und auf dieser Länge ist ihre Oberfläche auf drei Nanometer genau glatt. Zur Veranschaulichung, was das bedeutet: Stellen Sie sich vor, Sie würden von St. Gallen nach Genf gehen und eine Route über das Matterhorn wählen. Wäre die Schweiz so eben wie unsere Spiegel, dann müssten Sie nur drei Millimeter Höhenunterschied überwinden anstatt der jetzigen 4500 Meter.

Sie können sich vorstellen, welche Anforderung das an die Herstellung der Spiegel stellt: Diese Spiegel werden mehrere Monate lang nur poliert.

### Bei all diesen hohen Anforderungen an die Komponenten – wie sieht es mit deren Entwicklung aus: Macht das PSI hier alles selbst oder gibt es Kooperationen?

Sowohl als auch. Wir haben mit unseren Experten am PSI natürlich bereits ein beeindruckendes Knowhow vor Ort. Wir lassen uns beim Design der Strahllinien aber natürlich auch von anderen Anlagen inspirieren. Der internationale Austausch ist rege und die wechselseitige Unterstützung gross: Wir kooperieren mit Kollegen vom deutschen Synchrotron DESY und vom Röntgenlaser European XFEL, vom japanischen Röntgenlaser SACLA oder vom US-amerikanischen Röntgenlaser LCLS. Andere Komponenten bauen wir hier am PSI in Zusammenarbeit mit international tätigen oder lokalen Firmen.

### Der SwissFEL wird ab Ende 2016 in Betrieb genommen. Anfangs soll es eine Strahllinie geben, eine zweite ist aber geplant. Wofür benötigt man zwei Strahllinien?

Der SwissFEL wird zwei Arten von Röntgenlichtpulsen erzeugen – so genannte «harte» Röntgenlichtpulse, die eine kurze Wellenlänge haben, und «weiche» mit einer längeren. Das heisst, mit den beiden SwissFEL-Strahllinien lässt sich eine grosse Vielfalt an Experimenten durchführen. Damit können wir optimal auf die Bedürfnisse von Forscherinnen und Forschern aus der Schweiz, aber auch aus anderen Ländern eingehen.

### Strahllinien für eine neue Grossforschungsanlage zu planen und zu bauen ist keine alltägliche Aufgabe – was gefällt Ihnen an Ihrer Arbeit besonders?

Jede Strahllinie ist einzigartig und man betritt bei ihrer Entwicklung zum Teil unbekanntes Terrain. Dieser Aspekt meiner Arbeit gefällt mir sehr. Dass ich gerne in unentdecktes Neuland vordringe, hat sich bei mir bereits als kleiner Junge gezeigt: Als die Waschmaschine meiner Oma einmal kaputt ging, habe ich das Gerät in seine Einzelteile zerlegt und konnte es reparieren, ohne zu Beginn zu wissen, wie das funktioniert. Die Waschmaschine ist danach noch viele Jahre gelaufen. Diese Freude am Experimentieren und Entdecken habe ich mir bis heute erhalten und profitiere nun bei der Umsetzung der Strahllinien für den SwissFEL davon.

## Moderne Diagnostik für Entwicklungsländer

# Robustes Röntgengerät

Zwei Drittel der Weltbevölkerung haben keinen Zugang zu Röntgengeräten. Dabei gehören Röntgenbilder in der modernen Medizin zu den grundlegenden Diagnosewerkzeugen. Entwicklungsländer erhalten zwar immer wieder ausgemusterte Röntgengeräte aus Industrieländern. Diese lindern den Mangel jedoch nur kurzfristig, da sie nicht an die tropischen Bedingungen vor Ort angepasst sind. Sie vertragen keine Hitze, keine Luftfeuchtigkeit, keinen Staub, keine unregelmässige Stromversorgung. Die WHO schätzt, dass 70% aller gespendeten medizinischen Geräte im Empfängerland nie verwendet werden.

### Harten Anforderungen gewachsen

Ein Konsortium unter der Federführung der ETH Lausanne EPFL<sup>1</sup> hat nun mit GlobalDiagnostiX das erste digitale Röntgengerät speziell für Entwicklungsländer entwickelt. Auch das PSI hat seinen Beitrag geleistet. PSI-Postdoktorand David Haberthür erläu-

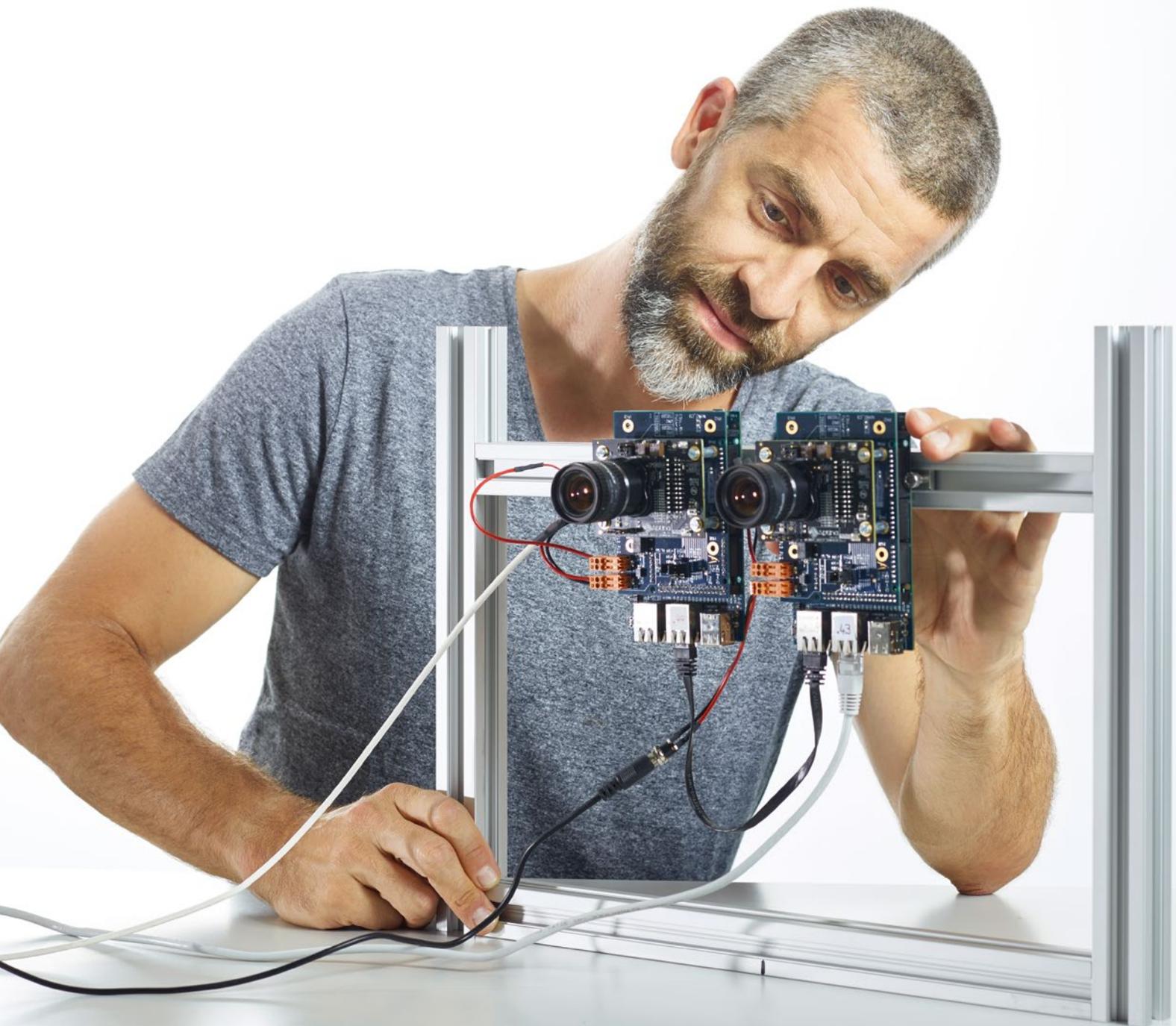
tert: «Moderne Film-Röntgengeräte kosten über zehn Jahre gerechnet inklusive Anschaffung, Betrieb und Verbrauchsmaterial an die 500'000 Franken. Das Ziel des Projekts ist, diese Gesamtkosten auf ein Zehn-

tel zu senken. Gleichzeitig soll das Gerät Temperaturen bis 40 Grad Celsius standhalten und Luftfeuchte bis 95% ebenso tolerieren wie die hohe Staubbelastung, die häufig ein Problem darstellt.»



Das robuste, aber kostengünstige Röntgengerät GlobalDiagnostiX wurde in enger wissenschaftlicher Zusammenarbeit mehrerer Institute entwickelt und soll Entwicklungsländern Zugang zu modernen Diagnosemethoden ermöglichen.

<sup>1</sup>Die Koordination lag beim EssentialTech Team des Cooperation & Development Center der EPFL. Eine vollständige Liste der beteiligten Institutionen finden Sie auf der Webseite <http://www.globaldiagnostix.org/>.



### Stromausfälle überbrücken

Die Neuentwicklung verträgt instabile Stromversorgung. Der Prototyp kann bis zu fünf Stunden gänzlich ohne Stromversorgung funktionieren. Auch der hohe, plötzliche Stromverbrauch von Röntengeräten stellt die Spitäler vor Probleme. Ein Röntengerät benötigt für die Röntgenröhre sehr hohe elektrische Leistung in kurzer Zeit. Durch ein eigens entwickeltes Modul kann GlobalDiagnostiX diese bereitstellen, ohne ständig die Stromversorgung des Spitals zu überlasten.

Zudem ist das Gerät einfach zu bedienen. Das ist wichtig, denn das häufig stark eingespannte Personal kann oft nicht ausreichend an komplizierten Geräten geschult werden.

«Aufgabe des PSI war es, ein Konzept für einen geeigneten Röntgendetektor zu entwickeln und diesen als Prototyp in Zusammenarbeit mit den Partnern aufzubauen. Er sollte so kostengünstig wie möglich sein und dennoch den gängigen medizinischen Standards entsprechen, was Bildqualität und geringe Strahlenbelastung für die Patienten angeht», erläutert Haberthür. Der digitale Detektor ersetzt im Röntengerät den in Entwicklungsländern noch häufig gebrauchten Röntgenfilm. Wie eine digitale Kamera wandelt der Detektor die Röntgenstrahlen in ein Bild um.

### 6000 Aufnahmen jährlich

Das Gerät ist darauf ausgelegt, mehr als 6000 Aufnahmen pro Jahr zu machen. Seine Hauptaufgabe wird sein, die am häufigsten vorkommenden Untersuchun-

gen zu meistern. «Es ist kein Spitzengerät für die Hochleistungsmedizin. Aber es kann 99% dessen, was im Spitalalltag im geplanten Umfeld gebraucht wird», so Haberthür weiter. Um die bestmögliche Bildqualität bereitzustellen, hat Haberthür Detektoren, die für die Bildaufnahme benötigt werden, mit verschiedenen Linsen und einem Szintillator kombiniert. Letzterer wandelt Röntgenlicht in sichtbares Licht um – denn nur dieses kann von den Bilddetektoren erfasst werden.

Im Prototyp sind zwölf baugleiche Module aus diesen drei Komponenten so angeordnet, dass mit ihnen eine 43 cm x 43 cm grosse Fläche geröntgt werden kann. Man kann sich das vorstellen wie eine Anordnung einzelner Fotoapparate, die ähnlich wie das Facettenauge eines Insekts funktionieren. Jeder bildet nur einen kleinen Teil des Gesamtbildes ab. Software setzt aus den Einzelbildern, gleich dem Insektengehirn, das komplette Bild zusammen. Die Herausforderung bestand darin, die beste Kombination an Komponenten zu bestimmen. Hierfür gab es zwei Kriterien. Zum einen mussten alle Komponenten am Markt erhältlich sein, zum anderen sollte das ganze Gerät vor Ort auch von dortigen Technikern repariert werden können.

### Dutzende Kombinationen ausgetestet

«Wir haben viele verschiedene Varianten durchgerechnet und teilweise Simulationen gemacht, um die ideale Komponenten-Kombination für die vordefinierten Bedürfnisse zu selektieren», erinnert sich

Haberthür. Danach ging es daran, die als geeignet erachteten Komponenten in allen erdenklichen Zusammenstellungen zu prüfen und die beste herauszufiltern. Am Ende hat er gemeinsam mit dem Studenten Ivan Kasanzew im Labor 124 verschiedene Kombinationen verbaut und getestet.

Anschliessend musste noch eine Bauweise gefunden werden, die auch eine rauere Behandlung ohne Schäden übersteht. Das gelang in Zusammenarbeit mit der EPFL und dem Institut für Industrielle Automation der Fachhochschule Westschweiz (HES-SO) in Yverdon-les-Bains, so Haberthür: «Unser Detektor ist deutlich massiver als marktüblich in einem stabilen Metallrahmen verbaut und übersteht auch Erschütterungen. Lässt man ein marktübliches Gerät fallen, ist der Detektor nicht mehr zu retten.» Neben der massiven Bauweise trägt auch die modulare, facettenaugenähnliche Bauweise zur Robustheit des Gerätes bei.

«Geht eins der zwölf Module des Detektors kaputt, liegt nicht gleich das ganze System lahm. Der Patient muss seine verletzte Hand vielleicht etwas anders platzieren. Man kann aber weiter Bilder machen, bis das Ersatzteil da ist.» Der Prototyp des kompletten Röntengerätes ist bereits funktionstüchtig. Nun muss sich das Gerät vor Ort im Testspital in Kamerun einer harten Evaluation unterwerfen. Nur wenn es sich unter den anspruchsvollen Bedingungen vor Ort bewährt, wird es auch seinen Markt finden.

## Neutronen in der Biophysik

# Das Gleichgewicht der Fotosynthese

Die Fotosynthese ist die älteste Form der Energiegewinnung auf Erden. Sie entstand in Meeres einzellern – lange bevor es Pflanzen an Land gab. Wäre die Erde 40 Jahre alt, so gäbe es auf ihr die Fotosynthese, seit sie zehn war.

Seit unserer Kindheit wissen wir, wo die Fotosynthese geschieht: In den Blättern und in allen anderen grünen Pflanzenteilen. In der Schule erfahren wir dann, dass es Zellen gibt und dass die Fotosynthese in den Chloroplasten der Pflanzenzellen stattfindet.

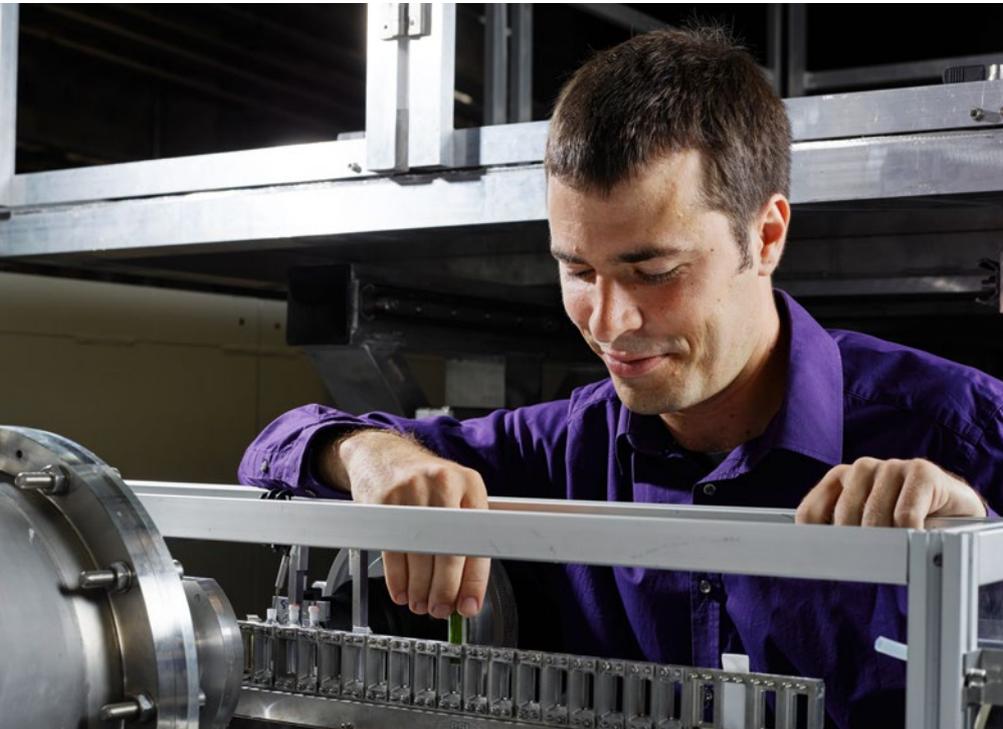
Und auch, dass das sogenannte Chlorophyll die pflanzliche Energiegewinnung verrichtet. Mit diesem Wissen begnügen sich die meisten Menschen ihr Leben lang.

Nicht so Gergely Nagy. Der junge Wissenschaftler hat Physik und Biophysik studiert und bereits während seiner Promotion am Institut Laue-Langevin in Grenoble die Fotosynthese mit physikalischen Methoden untersucht. Seit 2012 ist er nun Postdoktorand im Labor für Neutronenstreuung und Imaging am Paul Scherrer Institut PSI.

### Die winzige Fotosynthese-Maschinerie

Um Nagys Blick auf die Fotosynthese zu verstehen, müssen wir gedanklich weit in das grüne Blatt und seine Zellen hineinzoomen. In der Pflanzenzelle befinden sich viele Chloroplasten – das sind kleine, spezielle Organe in der Zelle. Ein solches Chloroplast ist zum Grossteil vom sogenannten Thylakoid ausgefüllt. Im Thylakoid sitzen das Chlorophyll und die anderen Moleküle,

Mit Neutronen durchleuchtet Gergely Nagy Grünalgen, die in kleine Glasgefässe abgefüllt wurden. Er ist an den Thylakoidstapeln interessiert, die zum Fotosynthese-Prozess in den Algen beitragen.



die das Sonnenlicht in nutzbare Energie für die Pflanze umwandeln.

Das Thylakoid ist eigentlich eine Membran, also ein dünnes Häutchen. Diese Membran ist aber so oft und so komplex übereinander gefaltet, dass das Thylakoid in Lehrbüchern wie ein Tellerstapel aussieht. Genauer: wie mehrere nebeneinanderstehende Tellerstapel, die über Thylakoid-Arme miteinander verbunden sind.

Diese Thylakoid-Stapel untersuchen Nagy und seine Kollegen am PSI mittels Neutronen an der Schweizer Spallations-Neutronenquelle SINQ. Für manche Experimente reist er auch an die internationale Neutronenquelle des Institut Laue-Langevin. Neutronen sind kleinste Atombau- steine. Sie können weitgehend ungestört und somit tief in das Untersuchungsmaterial eindringen. Zudem schädigen sie biologische Proben nicht.

Darum muss Nagy nicht mit Skalpell und Pinzette seine Untersuchungsobjekte aufschneiden. Er füllt kleine, lebende Grünalgen mitsamt Wasser in ein kleines Glasgefäß und stellt dieses in den Neutronenstrahl. «In der Fotosynthese-Forschung war es bisher nicht üblich, mit Neutronen zu arbeiten», sagt Nagy. «Unsere Untersuchungen sind daher einmalig und für diesen Teil der Wissenschaftsgemeinde wirklich spannend.»

Die Neutronen durchqueren die Glaswand, das Wasser und die Zellen der Algen mitsamt dem Thylakoid. Auf ihrem Weg durch die Alge werden einzelne Neutronen abgelenkt – in bestimmte Richtungen mehr als in andere. Durch das so entstehende Muster der abgelenkten Neu-

tronen lässt sich auf die Abstände in den Tellerstapeln schliessen.

### Aufgeweicht wie Pappteller im Regen

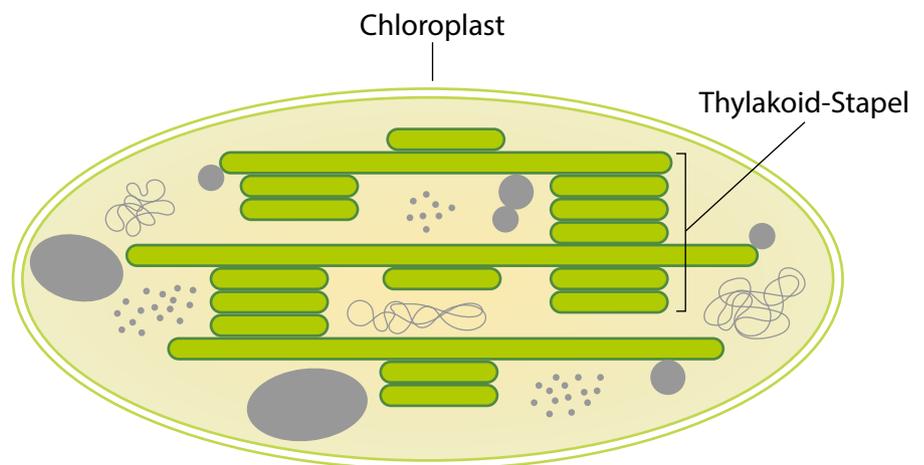
Aber nicht nur das: Änderungen innerhalb des Thylakoids ändern auch minimal die typischen Abstände. So werden viele Prozesse innerhalb des Thylakoids indirekt für Nagy und seine Kollegen sichtbar.

Die Forschenden konnten mit dieser Methode «live» untersuchen, wie das Thylakoid – und damit die Fotosynthese – auf Änderungen der Lichtverhältnisse reagiert. In der Natur ändert sich das Licht ständig: Ein Blatt flattert im Wind, ist mal im Schatten und mal nicht. Eine Alge wird immer wieder unter Wasser gedrückt.

Nagy und seine Kollegen stellten fest, dass bei bestimmten Lichtverhältnissen die sonst starren Teller in den Thylakoid-Sta-

peln aufweichen – als wären sie Pappteller im Regen. Diese kleinsten Veränderungen der Struktur dienen vermutlich der Feinjustage des Fotosynthese-Prozesses. Hierüber wird die Fotosynthese-Maschinerie bei sich ändernden Umweltbedingungen austariert. Das ist enorm wichtig, denn jedes Ungleichgewicht kann diese empfindliche Maschinerie beschädigen – wodurch wiederum die gesamte Alge oder Pflanze in Mitleidenschaft gezogen wird.

Mit seinen Ergebnissen hat Nagy das Verständnis der Fotosynthese ein entscheidendes Stück voran gebracht. Ein Forschungszweig, der rund 300 Jahre alt ist und damit im Vergleich zu seinem Objekt ausgesprochen jung: Wäre die Erde 40 Jahre alt, so hätte die Erforschung der Fotosynthese vor wenig mehr als einer Minute begonnen.



Wie untereinander verbundene Tellerstapel sieht das vielfach gefaltete Thylakoid aus. Es befindet sich zusammen mit anderen Partikeln in den sogenannten Chloroplasten. In diesen kleinen Organen in den Pflanzen- und Algenzellen findet die Fotosynthese statt. (Grafik: Mahir Dzambegovic / PSI)

## Porträt Jenna Poonoosamy

# Die Vermesserin der Gesteinsporen

Drei Jahre in Folge hat Jenna Poonoosamy den Preis für die beste Präsentation am Doktorandentag im Bereich Nukleare Energie und Sicherheit (NES) am Paul Scherrer Institut PSI erhalten. Poonoosamy stammt ursprünglich von der Insel Mauritius im Indischen Ozean. Schon in der Schule interessierte sie sich vor allem für Chemie. «Die

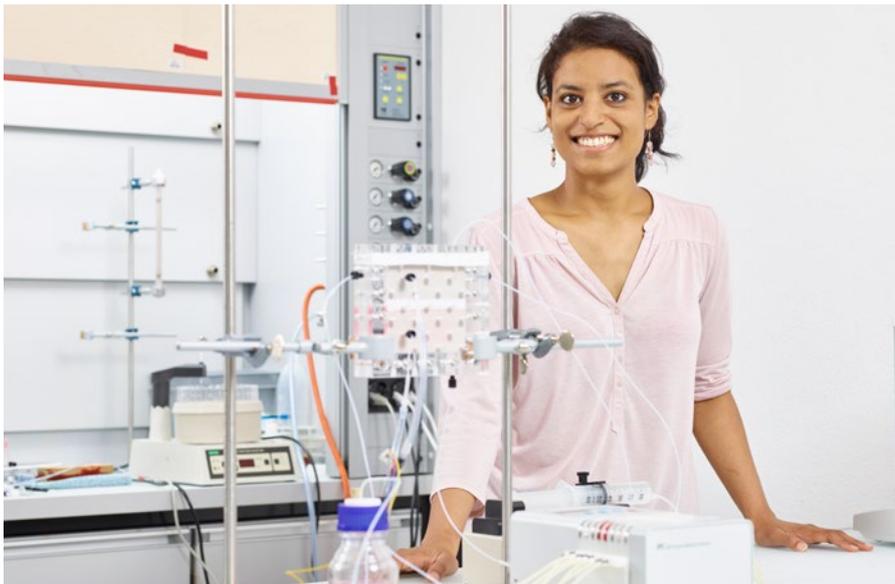
meisten meiner Freunde wollten in die Wirtschaft», erzählt sie. «Mich dagegen haben die Naturwissenschaften fasziniert.» Und so zog sie nach der Schule zum Chemie-Studium nach Paris. Und kam später für ihre Doktorarbeit ans PSI.

Hier promoviert sie seit rund drei Jahren im Labor für Endlagersicherheit (LES). Ihr

Untersuchungsgegenstand sind Prozesse in geologischen Formationen in grosser Tiefe. Dort finden Veränderungen über extrem lange Zeiträume statt; dabei können durchaus Jahrtausende vergehen, bevor nennenswert etwas geschieht. Aus diesen beiden Gründen – Tiefe und Zeitfaktor – können Forschende die dort stattfindenden Prozesse nicht direkt beobachten.

Üblicherweise werden Computersimulationen eingesetzt: Damit lässt sich im Zeitraffer durchspielen, wie die natürlichen Prozesse vermutlich abgelaufen sind oder noch ablaufen werden. Auch Jennas Arbeitsgruppe am LES setzt solche Computersimulationen ein. Das Problem dieser Simulationen ist, dass zunächst niemand weiss, wie korrekt sie die Wirklichkeit abbilden können.

Es braucht also einen Brückenschlag zwischen der schwer beobachtbaren Natur und der zunächst unsicheren Simulation. Diese Verbindung herzustellen war Poonoosamys Aufgabe und sie gelang ihr in Form eines Laborexperiments. «Experimente helfen, die richtigen Parameter für die Computersimulationen zu finden», erklärt Poonoosamy. «Wenn wir dann ein Experiment mit der Simulation gut nach-



Die Doktorandin Jenna Poonoosamy hat ein Experiment entwickelt, das auf einem Labortisch Platz hat. Damit liess sich eine Computer-Simulation verbessern, die wiederum schwer beobachtbare geologische Prozesse simuliert.

bilden können, gewinnen wir eine grössere Sicherheit im Verständnis der Abläufe – auch für unbeobachtbare geologische Vorgänge.»

### Verkleinert und beschleunigt

Poonoosamy wusste anfangs nicht allzu viel über geologische Zusammenhänge. Aber das, was sie von ihren Kollegen erfuhrt, konnte sie in die ihr bekannte Sprache der Chemiker übersetzen. Da war von sehr kleinen Hohlräumen in den Gesteinen die Rede, von Reaktionen zwischen zwei oder mehreren Gesteinsarten und wie sich dadurch die Hohlräume vergrösserten oder auch verkleinerten. Als Laie darf man sich ein Glas voller Murmeln vorstellen und die dazwischen liegenden Hohlräume. Geologen dagegen sprechen lieber von Gesteinsporen und den extrem langsam stattfindenden Porenraumveränderungen.

Mit diesem Wissen machte sich die junge Wissenschaftlerin daran, Substanzen zu suchen, die ebenfalls Hohlräume enthielten und so natürliche Gesteine nachbilden. Es sollten ausserdem Substanzen sein, die chemisch miteinander reagieren würden, wobei als Folge eine Veränderung der Grösse der Hohlräume zu erwarten war. Sie entschied sich für sandähnliche Körner aus Strontiumsulfat und für Bariumchlorid.

Als Experimentierkammer wählte sie ein flaches Plexiglas-Gefäss von zehn mal zehn Zentimetern. Sie füllte den

Strontiumsulfat-Sand hinein und liess eine Lösung aus Bariumchlorid und Wasser hindurchströmen. Dann wartete sie rund hundert Stunden – ein enormer Zeitgewinn im Vergleich zu realen geologischen Prozessen.

Bald konnte Poonoosamy beobachten, wie Bariumchlorid und Strontiumsulfat miteinander reagierten und wie sich im Ergebnis die kleinen Hohlräume zwischen den Strontiumsulfat-Körnern veränderten und teilweise verstopften.

### Poren sind überall

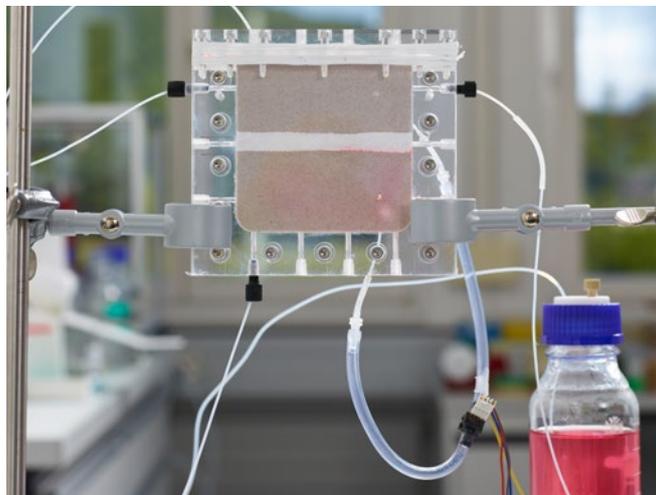
Prozesse der Porenraumveränderung sind nicht nur für Geologen interessant. Wo der Mensch mit dem Erdboden interagiert, Stoffe einbringt oder herausholt, können sich Gesteinsporen öffnen oder verschliessen: in der Geothermie ebenso wie in der Erdölförderung, bei der CO<sub>2</sub>-Versenkung, in der Grundwassersanierung, aber auch in Kläranlagen

und in der Agrartechnik. Manchmal sind die resultierenden Veränderungen der Gesteins-Hohlräume unerwünscht, manchmal werden sie gebraucht und werden daher unterstützt.

Auch die Tiefenlagerung radioaktiver Stoffe ist ein Beispiel, weshalb Poonoosamys Arbeit in der entsprechenden Arbeitsgruppe des PSI stattfindet. Für eine sichere Lagerung in tiefen Gesteinsschichten könnten Hohlraumverschlüsse von Vorteil sein: Dadurch wären selbst die kleinsten radioaktiven Partikel am Entweichen gehindert. «Auf jeden Fall ist dieser Porenverschluss ein wichtiger Prozess auch in der langfristigen Tiefenlagerung», so Poonoosamy. «Um ihn einplanen zu können, müssen wir ihn gut untersuchen. Unsere beschleunigten Experimente machen genau das möglich.»

Nach dem Abschluss ihrer Promotion strebt Poonoosamy eine Karriere in der Wissenschaft an – trotz der Unsicherheit, die dieser Weg heutzutage mit sich bringt. Derzeit schaut sie sich an verschiedenen Instituten nach einer Stelle als Postdoktorandin um. Sie könnte sich vorstellen, länger in der Schweiz zu bleiben: «Ich werde langsam besser im Skifahren.»

Zusätzlich zu ihren drei Preisen konnte sie noch einen Erfolg verbuchen: Aufgrund ihres Experiments liess sich die Computersimulation ihrer Arbeitsgruppe verbessern. Die Forschenden haben ein grosses Stück Sicherheit gewonnen, die realen geologischen Prozesse abbilden zu können.



Eine Welt voller Poren: Zehn mal zehn Zentimeter gross ist die Experimentierkammer, in der Jenna Poonoosamy beobachtet, wie poröse Stoffe miteinander wechselwirken.



# 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 PSI 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.

## Spallations-Neutronenquelle 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 $\mu\text{S}$

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 Informationen über das Magnetfeld in den Materialien. Myonen werden am PSI in der Myonenquelle  $\mu\text{S}$  (sprich: es-mü-es) erzeugt.

## Protonenbeschleunigeranlage

Die Neutronen aus der SINQ, die Myonen aus der  $\mu\text{S}$  sowie die Myonen- und Pionenstrahlen für Teilchenphysikexperimente entstehen, wenn ein Strahl schneller Pro-

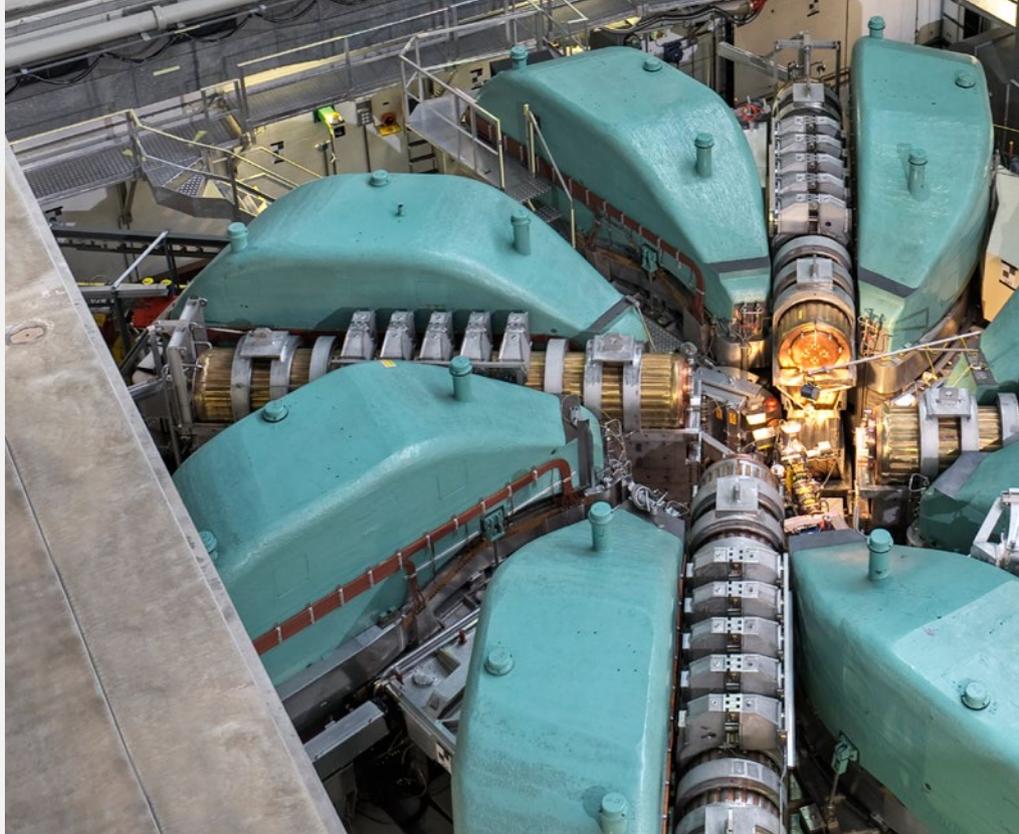
tonen auf einen Block eines speziellen Materials trifft. Der Protonenstrahl wird in der Protonenbeschleunigeranlage des PSI erzeugt. Hier werden die Protonen auf fast 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

### 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 hoch konzentriertem Sonnenlicht. Eine Quelle ultrakalter Neutronen UCN ermöglicht Untersuchungen zu den Eigenschaften des Neutrons.

### SwissFEL – die neue Grossanlage

Zurzeit entsteht am PSI eine weitere Grossanlage, die im Jahr 2016 in Betrieb gehen wird – der Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL. Diese knapp 740 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.



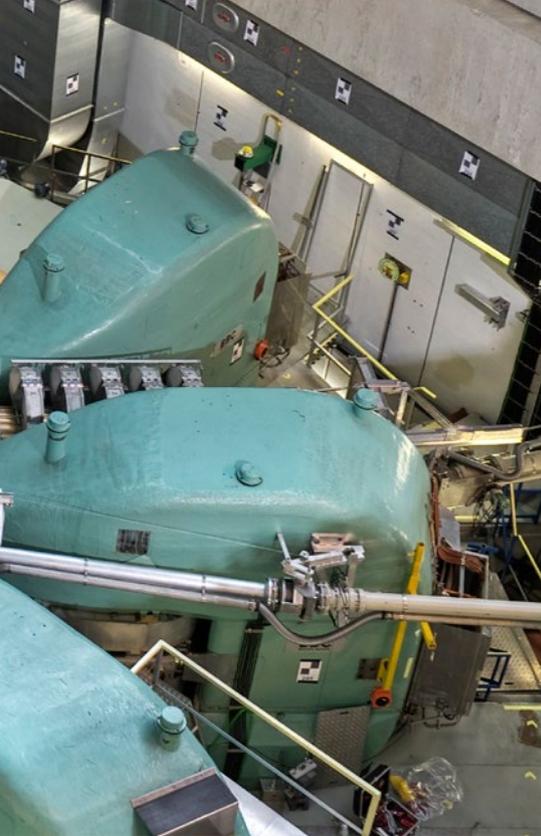
Blick auf den grossen Protonenbeschleuniger, der einen Umfang von rund 48 Metern hat.

## 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  $\mu\text{S}$  – eine Kombination von Anlagen, die es weltweit nur noch an einem



## Die Messzeit geht an die besten Forschungsprojekte

Sämtliche Forscherinnen und Forscher, 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 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 viermal so viel Messzeit beantragt wird, wie 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.

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 Industrie hingegen können in einem beson-

deren 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 erschienen 2014 mehr als 800 Fachartikel, die auf Experimenten an den Grossanlagen des PSI basieren. Und jährlich verzeichnet das PSI mehr als 5000 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 Hochschulen 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 Forschungsschwerpunkte des PSI

Das Paul Scherrer Institut PSI ist das grösste naturwissenschaftliche Forschungszentrum der Schweiz. Mehr als 700 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 supraleitend 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 CO<sub>2</sub>-freie Energieversorgung eingesetzt werden können.

PSI-Forschende arbeiten an Verfahren zur CO<sub>2</sub>-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.

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 zwei Kompetenzzentren zur Energieforschung im Rahmen des Aktionsplans «Koordinierte Energieforschung Schweiz» zu den Themenfeldern «Biomasse» und «Speicherung».



Weitere Informationen zu den beiden Kompetenzzentren.  
<http://psi.ch/ao78>

In der Halle der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS.



# Das PSI im Überblick

## Finanzzahlen 2014

	Mio. CHF	%
<b>Finanzierungsbeitrag des Bundes</b>		
Globalkredit	300,4	100,0
Wovon Investitionen in Bauten ETH-Bereich		
Eigentum Bund*	-20,6	-6,9
<b>Total für Forschung, Lehre &amp; Betrieb der Grossforschungsanlagen</b>	<b>279,8</b>	<b>93,1</b>
<b>Einnahmen</b>		
Total für Forschung, Lehre & Betrieb der Grossforschungsanlagen	279,8	74,0
Drittmitteleinnahmen		
- Privatwirtschaft	40,2	10,6
- Forschungsförderung Bund	28,0	7,4
- EU-Programme	10,9	2,9
- Andere Einnahmen	23,8	6,3
Bestandsveränderung zweckgebundenes Kapital	-4,5	-1,2
<b>Total Einnahmen</b>	<b>378,2</b>	<b>100,0</b>
<b>Ausgaben</b>		
Personalausgaben*	234,6	62,0
Sachausgaben*	79,7	21,1
Investitionen*	63,9	16,9
<b>Total Ausgaben</b>	<b>378,2</b>	<b>100,0</b>

\*inklusive Ausgaben SwissFEL

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

Festkörperforschung und Materialwissenschaften	35 %
Allgemeine Energie	20 %
Lebenswissenschaften	24 %
Nukleare Energie und Sicherheit	13 %
Teilchenphysik	8 %

## Personal

PSI hatte Ende 2014 rund 1900 Mitarbeitende. Davon war ein Viertel Postdocs, Doktorierende und Lernende. Insgesamt sind 39 Prozent der Stellen mit wissenschaftlichem Personal besetzt. 50,5 Prozent der Mitarbeitenden führen technische oder Ingenieurstätigkeiten aus. 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. 7,9 Prozent der Stellen sind der Administration zugeordnet. 25 Prozent der Mitarbeitenden sind Frauen, 48 Prozent sind ausländische Staatsbürger.

## Organisation

Das Paul Scherrer Institut ist in 7 Bereiche gegliedert. Die 5 Forschungsbereiche sind für den grössten Teil der wissenschaftlichen Arbeiten und die Betreuung der externen

Nutzer zuständig. Sie werden 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 die Bereichsleiter angehören.

## Beratende Organe

Eine interne Forschungskommission berät die PSI-Direktion bei wissenschaftsrelevanten Entscheidungen. Sie beurteilt geplante Vorhaben und Finanzierungsanträge an externe Geldgeber wie z.B. den Schweizerischen Nationalfonds SNF, die Förderagentur für Innovation KTI oder die EU. 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 12 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 geplanten Forschungsaktivitäten zu beurteilen.

# Impressum

Fenster zur Forschung  
Ausgabe 3/2015  
Paul Scherrer Institut, September 2015  
ISSN 1664-8854

Herausgeber: Paul Scherrer Institut

Die Publikation «Fenster zur Forschung»  
erscheint dreimal jährlich.

Konzeption:  
Alexandra von Ascheraden,  
Dagmar Baroke, Dr. Paul Piwnicki

Redaktion:  
Alexandra von Ascheraden,  
Dagmar Baroke, Martina Gröschl,  
Christian Heid, Dr. Laura Hennemann,  
Leonid Leiva, Dr. Paul Piwnicki (Ltg.),  
Frank Reiser

Gestaltung und Layout: PSI

Bildbearbeitung:  
Markus Fischer

Originalveröffentlichung zum Beitrag  
auf Seite 6 rechts:  
**Single-digit-resolution nanopatter-  
ning with extreme ultraviolet light  
for the 2.5 nm technology node and  
beyond**  
N. Mojarad, M. Hojeij, L. Wang, J.  
Gobrecht, and Y. Ekinici, *Nanoscale* 7,  
4031 (2015)

Legenden für ganzseitige Bilder:

Seite 3: PSI-Forschende haben auf  
solchen glänzenden Siliziumscheiben  
winzige Muster erzeugt, wie sie für  
zukünftige Computerchips benötigt  
werden.

Seite 10: Der Physiker Luc Patthey ist am  
Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL  
für das Design und die Umsetzung der  
Strahllinien verantwortlich.

Seite 14: David Haberthür,  
Postdoktorand in der Gruppe  
Röntgentomografie am PSI, hat mehr  
als hundert Gerätekomponenten für  
ein robustes Röntgengerät getestet. Sie  
erzeugen digitale Röntgenbilder, die  
bei Bedarf auch per Mobiltelefon an  
Spezialisten versendet werden können.

Seite 20: Luftaufnahme des Paul Scherrer  
Instituts.

Fotoaufnahmen:  
Alle Fotos Scanderbeg Sauer  
Photography ausser:  
Seite 6 links, 7 links, 20, 22:  
Markus Fischer  
Seite 13: Alain Herzog / EPFL

Weitere Exemplare zu beziehen bei:  
Paul Scherrer Institut  
Events und Marketing  
5232 Villigen PSI, Schweiz  
Telefon +41 56 310 21 11  
info@psi.ch

psi forum – Das Besucherzentrum  
des Paul Scherrer Instituts  
Sandra Ruchti  
Telefon +41 56 310 21 00  
psiforum@psi.ch, www.psfiforum.ch

iLab – Das Schülerlabor des  
Paul Scherrer Instituts  
Dr. Beat Henrich  
Telefon +41 56 310 53 57  
ilab@psi.ch, www.ilab-psi.ch

Mehr über das PSI lesen Sie auf  
www.psi.ch

Unser wichtigstes Kapital am PSI ist die herausragende Qualifikation, Erfahrung  
und Motivation unserer Mitarbeitenden. Um diesem, in der Sprache der Wirt-  
schaftswissenschaftler «Humankapital» ein Gesicht zu geben, stellen wir Ihnen  
in dieser Publikation einige Menschen vor, die bei uns arbeiten. Dabei gilt es zu  
beachten, dass moderne Forschung heute nur noch im Team erfolgreich sein  
kann. Auch die hier vorgestellten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben ihren  
Erfolg mithilfe eines Teams erzielt.

Das Paul Scherrer Institut PSI ist ein Forschungszentrum für Natur- und Ingenieurwissenschaften. Am PSI betreiben wir Spitzenforschung in den Bereichen Materie und Material, Energie und Umwelt sowie Mensch und Gesundheit. Durch Grundlagen- und angewandte Forschung arbeiten wir an nachhaltigen Lösungen für zentrale Fragen aus Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft. Das PSI entwickelt, baut und betreibt komplexe Grossforschungsanlagen. Jährlich kommen mehr als 2400 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. Die Ausbildung von jungen Menschen ist ein zentrales Anliegen des PSI. Deshalb sind etwa ein Viertel unserer Mitarbeitenden Postdoktorierende, Doktorierende oder Lernende. Insgesamt beschäftigt das PSI 1900 Mitarbeitende. Damit sind wir das grösste Forschungsinstitut der Schweiz.

