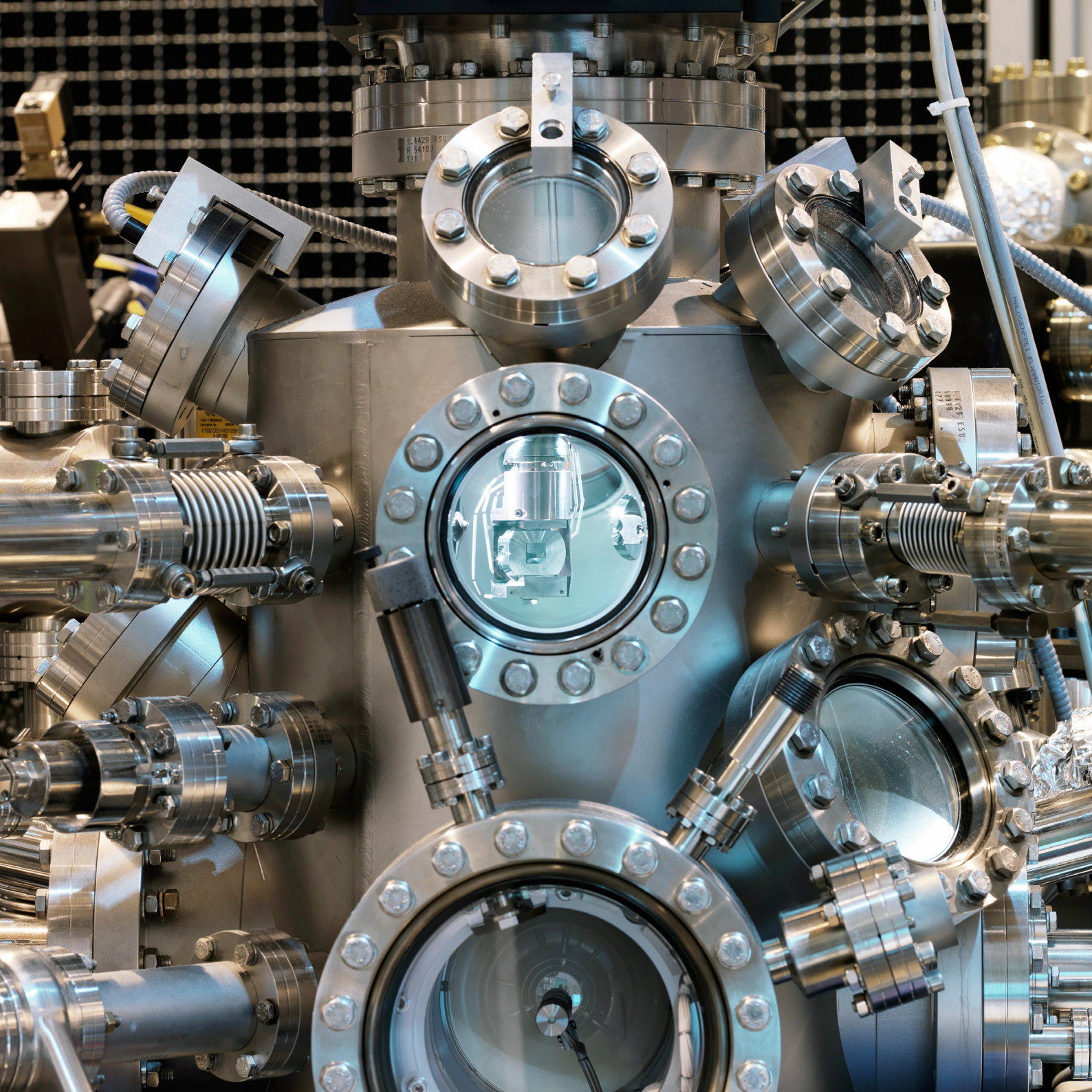


PAUL SCHERRER INSTITUT



Fenster zur Forschung





L 4428 ESII  
H 5410.2  
731

Use of this  
equipment  
without the  
proper safety  
training is  
prohibited.

L 4428 ESII  
H 5410.2  
731

MANUFACTURED BY: EQUIPMENT

# Inhalt

5	Ein Park für Schweizer Innovationen
6 / 7	In Kürze: Sterne Memory-Effekt Hochleistung PSI-Impuls-Preis
8 / 9	Weniger Stickoxid beim Transport
10 – 12	Die Sicherheitskultur gestalten
13 – 15	Die Rätsel am SwissFEL
16 / 17	Visionen für das Unerforschte
18 / 19	Mit Vitamin gegen Krebs
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

Innovationsförderung muss darauf abzielen, den Werk- und Forschungsplatz Schweiz international an der Spitze zu halten. Ein schweizerischer Innovationspark, wie ihn das neue Bundesgesetz über die Förderung von Forschung und Innovation vorsieht, muss deshalb ein Park von internationaler Bedeutung sein. Während sich die «Garagentüftler» im Silicon Valley diese Bedeutung ganz langsam und im Bottom-up-Stil zulegen konnten, wird ein schweizerischer Innovationspark eine Top-down-Initiative sein, und seine Protagonisten werden eine andere Herangehensweise wählen müssen, um dem Vorhaben möglichst schnell zu internationaler Sichtbarkeit und Bedeutung zu verhelfen.

Den Auftrag, hier die Rahmenbedingungen auszuarbeiten, hat die Konferenz Kantonalen Volkswirtschaftsdirektoren erhalten. Sie entschied sich für zwei Hubzentren um die eidgenössischen Hochschulen und eine noch nicht festgelegte Anzahl von weiteren Netzwerkstandorten.

Der Kanton Aargau und das PSI haben entschieden, sich mit dem «Park innovAARE» für einen Netzwerkstandort zu bewerben. Basis des weit ausgereiften Projekts bildet die vom PSI geplante High-tech-Zone. Das Institut möchte über einen Investor direkt angrenzend an sein Areal Unternehmen ansiedeln lassen, die von einer unmittelbaren räumlichen Nähe zu den Spitzenforschungsanlagen des PSI und

## Ein Park für Schweizer Innovationen



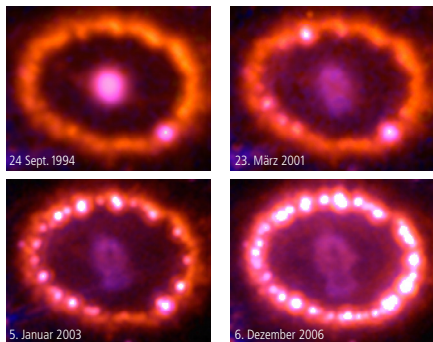
den dort tätigen PSI-Experten und -Expertinnen profitieren. Die örtliche Nähe soll sowohl formelle wie auch informelle Formen der Zusammenarbeit fördern. Ziel des PSI ist, seine Aktivitäten im Bereich des Wissens- und Technologiestransfers noch weiter auszubauen. Das PSI hat vom Bund den Auftrag erhalten, für die Schweiz einzigartige Grossforschungsanlagen zu entwickeln, zu bauen und zu betreiben. Deshalb hat das PSI eine breite Technologiekompetenz. Die Mitarbeitenden erarbeiten immer wieder neue Schlüsseltechnologien, die für die Grossforschungsanlagen unabdingbar sind. Diese hat das PSI schon in der Vergangenheit Unternehmen zur Verfügung gestellt, die daraus weitere Produkte entwickelten und damit in neue Märkte vor-

drangen. Dieses Vorgehen will das PSI nun strategisch ausbauen.

Die Unternehmen, die sich im Park innovAARE niederlassen, werden jedoch den Wunsch haben, über das PSI hinaus noch möglichst viele unterschiedliche potenzielle Wissens- und Technologiequellen anzapfen zu können. Auch hier steht das PSI als Türöffner zur Verfügung mit seinem Netzwerk aus Hochschulen, weiteren Forschungsinstituten und forschenden sowie entwickelnden Unternehmen.

Professor Dr. Joël Mesot  
Direktor Paul Scherrer Institut

## Sterne



Supernova 1987A, die im Jahr 1987 explodiert ist, in den Jahren nach der Explosion – links oben 1994, rechts unten 2006. Um zu verstehen, wie die Helligkeit des Sternrestes in der Mitte abnimmt, muss man die Eigenschaften von Titan-44 kennen. © NASA, ESA, und R. Kirshner (Harvard-Smithsonian Zentrum für Astrophysik).

Explodierende Sterne – Supernovae – gehören zu den spektakulärsten Objekten des Universums. Innerhalb weniger Tage blähen sie sich um ein Vielfaches auf und schleudern einen Grossteil ihrer Materie in das Universum. Viele Elemente wie Silizium, Natrium, Eisen oder auch Spurenelemente, die für das Leben auf der Erde unerlässlich sind, stammen aus Supernova-Explosionen, aus denen sie in unser Sonnensystem gelangt sind. Entstanden sind sie im Inneren der Sterne oder erst während der eigentlichen Explosion. Will man die Prozesse in Supernovae verstehen, so besteht ein Problem darin, dass man die Eigenschaften einiger wesentlicher Stoffe nicht genau untersuchen kann. Ein Beispiel ist das Titan-Isotop Ti-44, das mit einer Halbwertszeit von 60

Jahren zerfällt. Es entsteht bei Supernova-Explosionen und kann mit Radioteleskopen beobachtet werden. In der Natur gibt es auf der Erde aber kein Ti-44. Dass man hier dennoch untersuchen kann, wie sich Ti-44 im Weltall verhält, verdankt man unter anderem dem PSI. Denn hier fällt Ti-44 in relativ grossen Mengen als Nebenprodukt bei Materialuntersuchungen an. Man untersucht, wie sich metallische Werkstoffe verändern, wenn sie lange Zeit Strahlung ausgesetzt sind – wichtig für die Sicherheit von Kernkraftwerken und Grossforschungsanlagen. In dem bestrahlten Material entsteht nebenbei Ti-44, das nach Ende der Werkstoffuntersuchungen aus den Werkstoffen chemisch abgetrennt und in Kooperation mit anderen Instituten wie dem CERN für Experimente eingesetzt wird.

## Memory-Effekt

Lithiumionen-Batterien dienen in vielen kommerziellen Elektronikgeräten als leistungsstarke Energiespeicher. Bei relativ geringem Gewicht können sie viel Energie auf kleinem Raum aufnehmen, so viel steht fest. Zudem eilt ihnen der gute Ruf voraus, keinen Memory-Effekt aufzuweisen. Darunter verstehen Fachleute eine Abweichung der Arbeitsspannung der Batterie, die bei unvollständigem Laden bzw. Entladen auftritt und dazu führen kann, dass die gespeicherte Energie nur teilweise nutz-

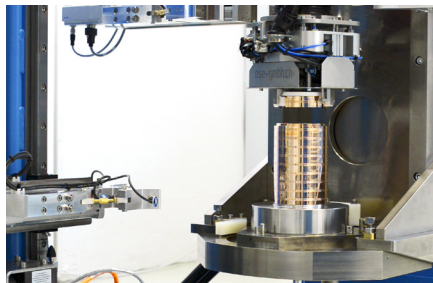
bar und der Ladezustand der Batterie nicht zuverlässig abzuschätzen ist. Nun berichten Forscher des PSI und des Toyota-Forschungslabors in Japan in einem Artikel im Fachjournal Nature Materials, dass sie bei einem weit verbreiteten Typ der Lithiumionen-Batterie doch einen Memory-Effekt entdeckt haben. Besonders hohe Relevanz besitzt der Fund im Hinblick auf den bevorstehenden Einzug der Lithiumionen-Batterien in den Elektromobilitätsmarkt.



Testbatterien werden auf ihre elektrochemischen Eigenschaften hin untersucht.

Nun sind Ingenieure gefordert, den richtigen Umgang mit dem eigentümlichen Gedächtnis der Batterie zu finden. Es sei nämlich durchaus möglich, dass der Effekt durch kluge Anpassungen der Software im Batterie-Managementsystem rechtzeitig festgestellt und berücksichtigt werden wird, betont Petr Novák, Leiter der Sektion für elektrochemische Energiespeicherung am PSI und Mitautor der Publikation. Sollte das gelingen, stünde der Memory-Effekt dem sicheren Einsatz von Lithiumionen-Batterien in Elektroautos nicht im Wege.

## Hochleistung



Die Roboteranlage stapelt die Kupfertassen auf den Mikrometer genau.

Dann waren es nur noch 101. Am PSI wurden die ersten Beschleunigerstrukturen für den Linearbeschleuniger des SwissFEL fertiggestellt. Die neue Grossforschungsanlage des PSI wird zurzeit im Würenlinger Unterwald gebaut. Sie soll ab 2016 hochintensive Röntgenlichtpulse mit den Eigenschaften von Laserlicht erzeugen.

Insgesamt 104 dieser Strukturen werden benötigt, um im SwissFEL die Elektronen, die das Röntgenlicht abstrahlen sollen, auf die erforderliche Energie zu beschleunigen. Jede Struktur setzt sich aus je 113 ringförmigen Kupferscheiben, sogenannten Kupfertassen, zusammen.

Bei der Fertigung der Beschleunigerstrukturen ist die Fehlertoleranz praktisch null. Die erforderliche Präzision wird von einer Roboteranlage sichergestellt. Sie arbeitet unter Reinraumbedingungen; alle Arbeitsabläufe sind bis ins kleinste Detail festgelegt. Die von einem Spezialisten präparierte Kupfertasse wird auf etwa 50 Grad

Celsius erhitzt und von einem Roboterarm zur Prüfung über eine 3-D-Kamera geführt. Danach stapelt er die Kupfertasse auf die bereits vorhandenen Tassen und kühlt sie wieder auf Raumtemperatur ab. Dadurch entsteht eine leichte Schrumpfverbindung, die für die genaue Ausrichtung sorgt. Sobald der Stapel fertig ist, wird automatisch ausgemessen, ob die nötige Exaktheit erreicht wurde. Zuletzt wird der Stapel sorgsam verbunden und für die Fertigstellung zum nebenan bereitstehenden Lötöfen transportiert.

Der Roboter live bei der Arbeit:

[www.psi.ch/KTassen](http://www.psi.ch/KTassen)

## PSI-Impuls-Preis

Künstliches Erdgas aus Holz und anderer Biomasse soll in Zukunft einen Beitrag zur Energieversorgung leisten, um die Abhängigkeit von Erdöl und Erdgas zu reduzieren und gleichzeitig als umweltfreundlicher Brennstoff den CO<sub>2</sub>-Ausstoss in die Atmosphäre zu verringern. Wie das gehen kann, daran hat Marcelo D. Kaufman Rechulski in seiner Doktorarbeit am PSI geforscht. Sie wurde nun mit dem PSI-Impuls-Preis ausgezeichnet, der vom Verein «PSI-Impuls – Freunde des PSI» alle zwei Jahre für eine besonders gelungene Doktorarbeit verliehen wird, die aus Forschung am PSI hervorgegangen und in Zusammenarbeit mit der Industrie entstanden ist.

Damit unterstützt der Verein eine wichtige Säule der Arbeit des PSI: die Ausbildung und Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Jährlich kommen rund 800 Doktorierende ans PSI, um Messungen für ihre Doktorarbeit durchzuführen. Mehr als 200 von ihnen haben eine Vollzeitanzstellung am Paul Scherrer Institut. Kaufman Rechulski erforschte in seiner Doktorarbeit «Katalysatoren für die Heissgasreinigung in der Herstellung von synthetischem Erdgas aus Biomasse». Dafür untersuchte er, wie sich die Gasreinigung bei der Herstellung von synthetischem Erdgas aus Holz optimieren lässt. Je effizienter die Herstellung von synthetischem Erdgas aus Holz ist, desto wirtschaftlicher ist es als Ersatz von Erdöl und Erdgas. Rechulskis Forschungsergebnisse sind ein Schritt auf dem Weg, den Prozess deutlich wirtschaftlicher zu gestalten.

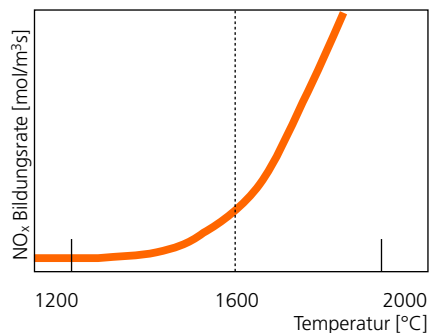


Marcelo D. Kaufman Rechulski (links) erhält von Rudolf Hug, Präsident des Vereins PSI-Impuls, die Urkunde des PSI-Impuls-Preises.

## Schiffsdiesel-Messstand

# Weniger Stickoxid beim Transport

Schon heute sind Gütertransporte auf dem Seeweg die energieeffizienteste Transportmethode über weite Distanzen. Dennoch wird ständig daran gearbeitet, die Schiffsmotoren noch sauberer zu machen. Auch am PSI. So kommt es, dass auf dem Forschungsgelände, direkt neben der ruhig dahinfließenden Aare, ein Schiffsdieselmotor auf dem Trockenen steht. Ruhig jedoch ist es nur an der Aare. Klaus Hoyer, Koordinator Grossmotorenforschung am PSI, ist mit Lärmschutzkopfhörern unterwegs, sobald er seinen schallgeschützten Messstand verlässt. Solch ein Motor ist lauter als ein Rockkonzert.



Die Menge an Stickoxid, die in einem Motor in einer bestimmten Zeit gebildet wird, steigt mit zunehmender Temperatur. Ab etwa 1600°C ist dieser Anstieg besonders deutlich.

### Verschärfte Vorschriften

Hoyer forscht daran, diesen Motor so zu optimieren, dass er den verschärften Emissionsvorschriften der International Maritime Organization (IMO) entspricht, die schon in drei Jahren in Kraft treten sollen. Sie schreiben vor, dass Schiffe, die ab 2016 auf Kiel gelegt werden, 80% weniger des schädlichen Stickoxids (NO<sub>x</sub>) ausstossen als heute. Nur Schiffe, die diese strengen Grenzwerte erfüllen, dürfen in sogenannte Emission Control Areas (ECA) wie Ostsee, Nordsee oder die Küstengewässer Nordamerikas einlaufen.

Wärtsilä, einer der grössten Hersteller von Schiffsdieselmotoren, setzt zusammen mit seinem Zulieferer ABB Turbosystems auf die Unterstützung durch das PSI und die ETH Zürich, wenn es darum geht, die Technik an die künftigen Vorschriften anzupassen. Das Projekt steht unter der Federführung des am PSI ansässigen Kompetenzzentrums für Energie und Mobilität (CCEM), das nachhaltige Projekte im Energiebereich fördert und koordiniert.

### Spezielle Betriebsart

Um sein Ziel zu erreichen, nutzt Hoyer den Miller-Zyklus, eine besondere Betriebsart

des Viertaktmotors. Das Einlassventil wird dabei früher geschlossen als beim klassischen Ottomotor. Um in der kürzeren Zeit die gleiche Luftmenge in den Zylinder zu füllen, braucht es einen höheren Aufladedruck, der durch zwei in Serie angeordnete Turbolader mit Zwischen- und Nachkühlung erzeugt wird. Dadurch ist die Luft im Brennraum bei Beginn der Diesel-Einspritzung etwa 100 Grad Celsius kälter als beim klassischen Turbodieselmotor und hat nur etwa 500 Grad. Diese 500 Grad stellen die theoretisch mögliche Untergrenze dar, an die sich die Ingenieure so dicht wie möglich heranarbeiten wollen, da unterhalb keine stabile Selbstzündung des Diesels möglich ist. Klaus Hoyer erläutert: «Die Temperatur vor der Selbstzündung ist entscheidend, da die Bildung von Stickoxid erst bei über 1600 Grad richtig in Schwung kommt. Je tiefer also die Temperatur bei Beginn der Selbstzündung ist, desto kälter sind auch Flamme und Abgas und umso weniger Stickoxide entstehen.»

### Sauerstoffgehalt verringern

Die NO<sub>x</sub>-Bildungsrate hängt aber auch vom Sauerstoffgehalt im Brennraum ab, da Stickoxid zur Bildung Sauerstoff benötigt.



Hoyer: «Wir arbeiten daran, einen Teil des verbrannten Abgases in die frische Ansaugluft zu mischen, um die Sauerstoffkonzentration im Brennraum zu reduzieren und so die Stickoxidbildung weiter zu verringern.» Da zeigt sich der Pferdefuss: Weniger Sauerstoff bewirkt erhöhte Russbildung. Dieser will Hoyer durch Einmischung feinst verteilter Wassertropfchen in den Diesel entgegen-

wirken. Der Wasseranteil dieser Emulsion verdampft in der Hitze explosionsartig und zerreißt zu grosse Dieseltröpfchen. Je feiner die Kraftstofftröpfchen sind, desto ruffreier verbrennen sie anschliessend.

An dieser Stelle ist das Projekt seiner Zeit sogar voraus. Die Gesetzgebung verlangt nur, es dürfe «kein sichtbarer Rauch» entstehen. Hoyer und seine Kollegen sind

überzeugt, dass auch hier eine Verschärfung der Vorschriften ansteht. Für diese wollen sie gerüstet sein.

Originalveröffentlichung:  
**Recent Developments in the Understanding of the Potential of In-Cylinder NO<sub>x</sub> Reduction through Extreme Miller Valve Timing**  
 P. Kyrntatos, P. Obrecht, K. Boulouchos, K. Hoyer,  
 Paper Nr. 225; 27<sup>th</sup> CIMAC World Congress on Combustion Engine Technology, Shanghai, 2013



Klaus Hoyer optimiert am Schiffsdieselmotorenstand des PSI die Technologie von Schiffsmotoren. Ziel ist den Stickoxidausstoß stark zu verringern.

## Interview mit Sabine Mayer

# Die Sicherheitskultur gestalten

**Frau Mayer, Sie leiten seit Anfang Jahr die Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit ASI und sind somit zuständig für die Gewährleistung der Sicherheit am PSI von der Betriebsfeuerwehr über die Arbeitssicherheit bis zur radiologischen Überwachung.**

Stimmt, Sicherheit am Paul Scherrer Institut hat zahlreiche Facetten. Wir prägen die Sicherheitskultur auf allen Ebenen: Wir sind zuständig für die Zutrittskontrolle und die Überwachung des Areals, die Gewährleistung des gesetzlich vorgeschriebenen Strahlenschutzes, die Wahrnehmung von gesetzlichen Bestimmungen in Brandschutz und Arbeitssicherheit. Kurz: Die ASI ist Unterstützungs- und Auskunftsstelle für alles, was Sicherheit betrifft. Das erfordert ein breites, fachübergreifendes Wissen.

**Die Experten ihrer Abteilung sind auch ausserhalb des PSI gefragt.**

Der Strahlenschutz ist ein weites Feld und daher sehr spannend. Speziell schätze ich den guten Austausch mit den Behörden auf fachlicher Ebene. Unser Wissen wird gebraucht, unsere Vorschläge finden An-

wendung. Das Bundesamt für Gesundheit BAG, das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI oder das Eidgenössische Institut für Metrologie METAS vertrauen auf unseren Pool an Fachleuten. Wir prägen die Sicherheitskultur in der Schweiz mit. In den Gremien zu sitzen, die die grossen Leitlinien ziehen, das ist hoch interessant.

**Sie sorgen nicht nur für die Sicherheit am PSI, sondern engagieren sich auch in Dienstleistungen für die Bevölkerung.**

Wir halten zum Beispiel einen Pikettdienst für Strahlenschutz aufrecht. Die Nationale Alarmzentrale NAZ kann unsere Leute jederzeit zu einem externen Einsatz rufen. Tritt ein Ereignis mit erhöhten Strahlungswerten auf, können unsere ausgebildeten Mitarbeitenden Messungen durchführen und die entsprechenden Massnahmen einleiten. Zum Beispiel werden wir hin und wieder zum Flughafen Zürich-Kloten gerufen, wenn bei einem Transport ein Behälter mit radioaktivem Inhalt beschädigt wurde. Das kommt aber nur wenige Male pro Jahr vor.

**Gibt es auch Anfragen aus der Bevölkerung?**

Gerade nach Fukushima hatten wir einige. Wenn die Leute tatsächlich Grund zur Beruhigung haben und ans PSI kommen können, helfen wir unbürokratisch. Manche Firmen kamen mit der Bitte, Waren ihrer japanischen Lieferanten zu untersuchen. Manchen haben wir auch Messgeräte ausgeliehen, da zu der Zeit auf dem Markt nur schwer welche zu bekommen waren.

**Wie weit war die ASI nach Fukushima grundsätzlich mit Dienstleistungen involviert?**

Es gab regen Besuch am PSI. Zurückgekehrte Botschaftsangestellte und Leute von den Hilfswerken, die vor Ort in Japan mitgeholfen hatten, kamen zum Ganzkörperzähler. Mit diesem Gerät können wir untersuchen, ob jemand radioaktive Substanzen in den Körper aufgenommen hat. Zudem waren unsere Mitarbeitenden am Flughafen Zürich-Kloten vor Ort, um die Angestellten der Hilfswerke im Umgang mit den Messgeräten zu unterweisen. Wir ha-



### Zur Person

Sabine Mayer (38) hat in Wien eine Höhere Technische Lehranstalt mit Ausrichtung Biomedizinische Technik absolviert und an der TU Wien Technische Physik mit Spezialisierung auf Strahlenphysik studiert. Schon ihre Doktorarbeit am CERN verfasste sie zu einem Thema der Strahlenschutzforschung. Anschliessend blieb sie noch zwei Jahre als Fellow am CERN. Von dort bewarb sie sich auf eine Physikerstelle im Messwesen. So kam sie im Oktober 2005 ans PSI in die Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit. Seit 1. Januar 2013 ist sie dort Abteilungsleiterin. Sie ist Mitglied der Eidgenössischen Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität KSR. Mayer ist verheiratet und Mutter eines einjährigen Sohnes. In ihrer knapp bemessenen Freizeit joggt sie gern oder spielt Tennis.



Das «personenähnliche Phantom» IGOR dient zur Kalibrierung des Ganzkörperzählers. Mit diesem empfindlichen Detektor kann festgestellt werden, ob radioaktive Substanzen in den Körper aufgenommen wurden.

ben das Flughafenpersonal auch dabei unterstützt, das Gepäck auf Strahlung zu kontrollieren. Eine Person war vor Ort in Japan und hat den Umgang mit Messgeräten geschult.

**Sie erwähnten eben den Ganzkörperzähler. In einem Keller wartet unter ihm das «personenähnliche Phantom» IGOR auf seinen Einsatz. Man sagt, es sei nicht allzu beliebt, ihn zu besuchen.**

Ja, aber das liegt nicht an IGOR, der ist eigentlich ein ganz angenehmer Geselle aus Polyethylen, sondern an seinem «Arbeitsort». Mit IGOR kalibrieren wir den Ganzkörperzähler. Mit diesem Gerät werden jedes Jahr etwa 270 Personen untersucht, zum Beispiel Leute, die in Fukushima vor Ort waren, aber auch Angestellte aus Kernkraftwerken oder Radionuklid-Laboratorien. Die Messung dauert nur sieben Minuten, aber sie findet in einer kleinen, mit Eisen abgeschirmten Messkammer statt. Wir tun unser Möglichstes, um den Aufenthalt dort etwas angenehmer zu machen: Wir haben Strandposter aufgehängt und spielen Musik ein. Gerade nach Fukushima konnten wir dank IGOR viele Leute beruhigen und ihnen mitteilen, dass sie keine radioaktiven Substanzen aufgenommen hatten.

**Was passiert, wenn Sie etwas finden?**

Dann informieren wir die Aufsichtsbehörden und, sofern der Mitarbeitende etwa

bei einem Fremdbetrieb angestellt ist, auch den Bewilligungsinhaber. Wir haben tatsächlich nur äusserst selten einen Fall, und bei keiner Person, die in Fukushima vor Ort war, stellten wir Messwerte fest, die über den sehr strengen gesetzlichen Grenzwerten liegen.

**Wie erklären Sie Laien die Messwerte?**

Wir müssen oft relativieren, die Werte in ein Verhältnis setzen und darlegen, dass geringe Strahlenbelastung durch die natürliche Strahlung in der Natur unvermeidbar ist. Dazu muss man wissen, dass die natürliche terrestrische Strahlung standortabhängig ist. In den Alpen kann sie doppelt so hoch sein wie im Mittelland. In den Bergen hat die kosmische Strahlung höhere Bedeutung, da sie mit steigender Höhe zunimmt. Radon sorgt für einen Grossteil der Belastung aus natürlichen Quellen. Es kommt vor allem in tiefer gelegenen Räumen vor, da es aus dem Boden entweicht.

**Stichwort natürliche Radioaktivität: Am PSI gibt es eine Eichstelle für Radonmessgeräte.**

Wir eichen die Geräte der offiziellen Radonmessstellen der Schweiz in periodischen Abständen. Wir eichen aber auch im Auftrag des METAS, und kalibrieren als akkreditierte Kalibrierstelle viele andere Arten von Strahlenschutzmessgeräten. Das ist interessant, denn das ist praktische Physik.

# Wie man Messergebnisse am Röntgenlaser entschlüsselt

## Die Rätsel am SwissFEL

«Die Forschungsanlagen des PSI sind riesige Mikroskope, mit denen man in das Innere von Materialien und komplexen Molekülen sehen kann», so heisst es oft. Ganz so einfach ist das aber nicht. Durchleuchtet man etwa an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS ein Untersuchungsobjekt mit Röntgenlicht, bekommt man als Ergebnis nicht das gewünschte vergrösserte Bild, sondern ein sogenanntes Streudiagramm – eine Kurve oder ein buntes Bild, das keineswegs einer fotografischen Abbildung der gesuchten Struktur nahekommt. Dennoch enthalten diese Ergebnisse für die Wissenschaftler die gesuchte Information – aber in verschlüsselter Form, gewissermassen als Rätsel, dessen Lösung eine ziemliche Herausforderung sein kann. Wer schon mal versucht hat, ein Sudoku zu lösen, kennt das Problem: Eigentlich hat man genug Information, um in alle Kästchen die richtigen Zahlen zu schreiben, beisst sich dann aber doch die Zähne an der Lösung aus.

### Neue Herausforderungen

Den Forschern, die sich dem Lösen solcher Rätsel verschrieben haben, werden Freielektronen-Röntgenlaser (kurz XFELs) wie der SwissFEL des PSI ganz neue Herausfor-

derungen bringen. Denn die Experimente werden hier im Detail anders funktionieren als an bisherigen Anlagen. So ist für Untersuchungen an der SLS wichtig, dass das Untersuchungsobjekt während der Messung «stillhält» und relativ gross ist – meist hat es die Struktur eines Kristalls, d. h., seine Bausteine sind regelmässig angeordnet. Aus den Messdaten in diesem Fall die Struktur herauszubekommen – damit hat man Jahrzehnte Erfahrung. An einem XFEL werden Forschende den Vorteil haben, dass sie nun winzige Objekte untersuchen können, die sich nicht zu Kristallen zusammenbauen lassen und die man daher auch nicht festhalten kann. Und werden gleichzeitig vor der Notwendigkeit stehen, neue Verfahren für die Auswertung der Experimente zu entwickeln.

Das ist genau die richtige Herausforderung für Forscher wie Bill Pedrini, Physiker im SwissFEL-Team und schon seit seiner Zeit in der theoretischen Physik gewohnt, sich erfolgreich den härtesten mathematischen Aufgaben zu stellen. «Wir kommen hier nicht mit einer einzelnen Aufnahme aus, sondern müssen viele einzelne Bilder machen und diese zu einem einzigen Bild zusammenfügen», so Pedrini. Dabei kann

man die Bilder nicht einfach zusammenzählen, weil die Untersuchungsobjekte bei jeder Aufnahme anders im Raum orientiert sein könnten.

### Aus vielen Belichtungen zusammengesetzt

Diese Untersuchungsobjekte könnten zum Beispiel Biomoleküle sein, die als winzige Maschinen im Inneren unserer Zellen unzählige lebenswichtige Aufgaben erfüllen und deren Aufbau man für die Entwicklung von Medikamenten kennen muss. In einem Experiment würde man identische Moleküle nacheinander in den Weg des XFEL-Lichts schiessen. Wenn das Molekül präzise im gleichen Augenblick ankommt, in dem auch ein Lichtblitz aus dem XFEL aufleuchtet, wird es durchleuchtet, und man bekommt ein buntes Streudiagramm. Obwohl der Lichtblitz sehr intensiv ist, ist er gleichzeitig so kurz, dass ein einzelnes Bild zu lichtschwach ist, als dass man daraus auf die Struktur schliessen könnte. Der kurze Blitz sorgt andererseits für kurze Belichtungszeit und verhindert so, dass ein «verwackeltes» Bild entsteht. So braucht man eben die vielen Streudiagramme, die von den einzelnen Molekülen stammen. Das Ziel ist nun,



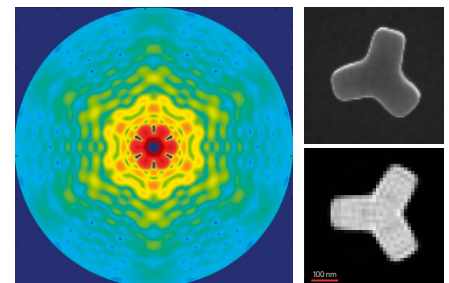
aus den Diagrammen eines zu erzeugen, das so aussieht, als hätte man ein einzelnes Teilchen lange belichtet.

«Wir haben das Problem jetzt für zweidimensionale Teilchen gelöst», erklärt Pedrini stolz. «Aus dem fiktiven Streudiagramm, das wir am Ende berechnen, kann man dann mit üblichen Verfahren bestimmen, wie ein einzelnes Teilchen ausgesehen hat.» Sein Verfahren hat Pedrini an der SLS getestet – mit speziell hergestellten, sternförmigen Nanoteilchen. Diese waren im Experiment zufällig auf einer feinen Membran verteilt. Da sie sich nicht bewegten, konnte man sie lange belichten und war nicht auf die kurzen XFEL-Blitze angewiesen. Um aufeinanderfolgende Messungen zu simulieren, hat man die Sternchenverteilung an stets verschiedenen Stellen beleuchtet – so konnte man nachstellen, dass die Untersuchungsobjekte immer wieder unterschiedlich ausgerichtet waren. In jeder Messung hat man so ein Streudiagramm aufgenommen, aus allen Streudiagrammen ein neues rekonstruiert und daraus das Bild eines einzelnen Sternchens bestimmt. Die Ähnlichkeit mit einem der echten Messobjekte ist verblüffend.

### Komplizierte Mathematik liefert Lösung

Hinter dem Verfahren steht komplizierte Mathematik – eine Methode, die Fachleute Kreuzkorrelation nennen. Diese hebt die kleinen, aber relevanten Details in den verschiedenen Streudiagrammen hervor. «Damit war die Rekonstruktion auch möglich, wenn wir nicht wussten, wie viele Teilchen in den einzelnen Aufnahmen im Strahl waren», freut sich Pedrini. Denn das ist eine zusätzliche Schwierigkeit: Oft werden zwei oder mehr Teilchen gleichzeitig durchleuchtet, ohne dass man das dem Streubild ansehen würde. Das war ein wichtiges Ergebnis.

Man hat auch Grundsätzliches für Experimente an XFELs gelernt: «Wir wissen jetzt zum Beispiel, welche Effekte entstehen, wenn Licht, das von zwei Objekten gestreut wurde, interferiert», so Pedrini, «und wie wichtig es ist zu berücksichtigen, dass der Lichtstrahl nicht im ganzen Strahlquerschnitt gleich intensiv ist.» Diese Ergebnisse sind wichtig, auch wenn das Verfahren im Augenblick noch für einen etwas unrealistischen Fall entwickelt wurde. Denn echte Moleküle sind nicht zwei-, sondern dreidimensional. «Wir wollen als Nächstes das Verfahren für dreidimensionale Objekte er-



Eines der Nanosternchen, die beim Test des neuen Auswerteverfahrens für XFEL-Experimente verwendet wurden (oben rechts) und die mithilfe des Verfahrens rekonstruierte Struktur (unten rechts). Die Struktur wurde aus dem fiktiven Streudiagramm bestimmt, in dem die Ergebnisse vieler Messungen zusammengefasst sind (grosses Bild).

weitern», erklärt Pedrini, «wissen aber jetzt schon, dass wir mit den Ergebnissen aus dem XFEL-Experiment nicht auskommen werden. Man wird zusätzliche Informationen über die Moleküle brauchen, zum Beispiel über deren Symmetrie.»

Originalveröffentlichung:  
**Two-dimensional structure from random multiparticle X-ray scattering images using cross-correlations**  
 B. Pedrini, A. Menzel, M. Guizar-Sicairos, V. A. Guzenko, S. Gorelick, C. David, B. D. Patterson & R. Abela  
*Nature Communications* **4**, 1647 (2013)

## Porträt Frithjof Nolting

# Visionen für das Unerforschte



Frithjof Nolting auf der Brücke im Rund der SLS

Seine Welt ist zu klein für unser Auge: Frithjof Nolting erforscht seit über zehn Jahren die Eigenheiten von winzigen Teilchen, den Nanopartikeln. Nun hat er Anfang Jahr die Gesamtleitung des Labors für Kondensierte Materie an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI übernommen. Dadurch hat sich einiges verändert. «Früher verbrachte ich viel Zeit an meinen Experimenten.» Bis zum Wechsel leitete Nolting eine der sechs Gruppen des Labors. Mit seinem Team Mikroskopie und Magnetismus untersuchte er die magnetischen Vorgänge in Metallen mithilfe des Synchrotronlichts. Dieses eignet sich durch seine hohe Intensität zur Untersuchung kleinster Proben. An der SLS wird es von schnellen Elektronen abgegeben, die auf einer Kreisbahn fliegen. Von dieser Bahn gehen Strahlrohre ab, die das Licht zu Messplätzen leiten, an denen die einzelnen Gruppen forschen. Die Elektronenbahn gibt der Halle auch die charakteristische Kreisform, ähnlich einem Willisauer-Ringli, mit einem kleinen Innenhof in der Mitte.

### Neues Büro, neue Herausforderung

An diesem Hof liegt auch das neue Büro von Frithjof Nolting. In seiner neuen Funk-

tion beschäftigen den Nanowissenschaftler derzeit nicht mehr primär die Interaktionen von Nanoteilchen, sondern jene seiner insgesamt 70 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Die Koordination der Abläufe im ganzen Labor ist nun ein wichtiger Aufgabenbereich. «Ich verbringe sicherlich mehr Zeit in meinem Büro», sagt er «doch der Spagat zwischen Führung und Forschung gelingt mir bisher ganz gut.»

An den Meetings an seinem Sitzungstisch bespricht er mit den Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen die laufenden und zukünftigen Projekte. Nolting muss über alle Projekte seines Labors Bescheid wissen. «Die Einblicke, die ich dabei erhalte, sind sehr spannend», freut er sich. Seine Position verlange aber auch, dass er zu allen Themen Stellung beziehen könne. «Davor habe ich einen gewissen Respekt», gibt Nolting offen zu. «Doch es funktioniert, weil in unserem Labor sehr selbstständige und innovative Gruppen arbeiten.» Der passionierte Forscher nickt anerkennend. Wovon er spricht, will er auf einem Rundgang durch die SLS zeigen. Frithjof Nolting zeigt die Begeisterung für seine Arbeit ganz offen – und gibt diese auch gerne weiter.



### Abstraktes sichtbar machen

Aus dem Büro führt eine Brücke über die SLS hinweg; in deren Mitte bleibt Nolting stehen. Er deutet auf die Bahn, in der die Elektronen kreisen. «Mit dem Licht, das sie abstrahlen, machen wir Details sichtbar, die wir mit den Augen nicht sehen können», erklärt er. Schnell steigt Nolting die Treppe zu den Messplätzen hinunter. Untersucht werden Oberflächen von Metallen oder die Anordnung der einzelnen Teilchen in winzigen Nanokristallen. Und obschon hier hochkomplexe Forschung stattfindet, klingen die einzelnen Bereiche aus dem Mund des Physikers absolut simpel. Nolting, der als Titularprofessor für Nanowissenschaften an der Uni Basel auch Vorlesungen hält, findet selbst für abstrakte Physik sehr anschauliche Bilder. Woher das kommt? «Statt hier im Rund der SLS wäre ich beinahe auf der Theaterbühne gelandet», sagt er schmunzelnd. Nach dem Abitur entschied sich der Hobby-Schauspieler dann aber doch für die Wissenschaft, die ihm mehr Perspektiven bot, wie er sagt. Von der Bühne geblieben ist ihm die Fähigkeit, das Publikum in seinen Bann zu ziehen. «Das kommt mir auch als Wissenschaftler zugute, um meine Forschung überzeugend zu präsentieren», sagt Nolting, und klingt dabei ganz bescheiden.

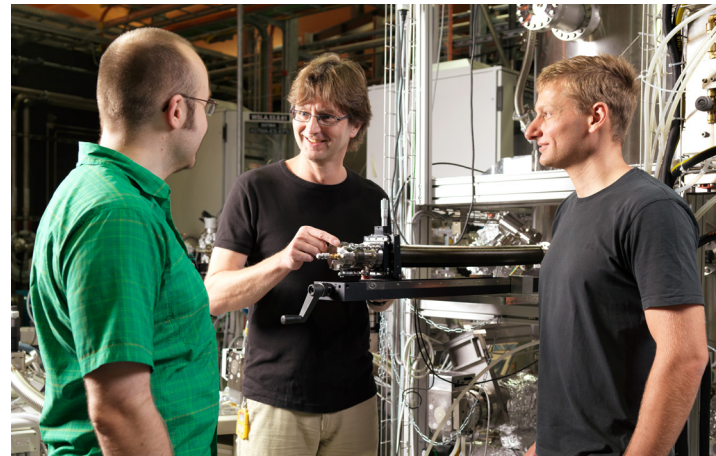
### Neue Materialien und Entdeckungen

Doch Frithjof Nolting ist nicht nur ein guter Redner, sondern auch Wissenschaftler mit Leib und Seele. Was ihn antreibt, sei die Neugierde für noch unerforschte Winkel unserer Welt, die direkt vor unserer Nase liegen. «In vielen Materialien, wie etwa in

den Metallen einer Festplatte, laufen Dinge ab, die wir noch gar nicht richtig verstehen», erzählt Nolting, während er geschickt zwischen den Geräten entlang der Strahllinien hindurchschlüpft. Deshalb untersucht er die Eigenschaften von Feststoffen ganz genau, wobei ihn vor allem das magnetische Verhalten von winzigen Partikeln interessiert. «Verstehen wir das Zusammenspiel der Teilchen in einem System, können wir versuchen, es zu kontrollieren.» So lassen sich Materialien mit optimierten Charakteristika herstellen, beispielsweise Metallmischungen, mit denen die Festplatte schneller läuft. Oder es lassen sich ganz neue Effekte finden. Wie die Magnetpol-Umkehr durch Hitze, an deren Entdeckung Frithjof Nolting im vergangenen Jahr beteiligt war. Mit dieser Technologie könnten die winzigen Magnete, die die Daten auf einer Festplatte speichern, statt wie heute mit einem Magnetfeld, mit einem heissen Laserimpuls geändert werden – was eine rund 1000-mal schnellere Datenspeicherung ermöglicht.

### «Wir müssen Visionen haben»

Nolting bleibt vor einer ihn überragenden Anlage stehen. Der metallene Kessel in einem sorgfältig montierten Gewirr aus Rohren und Schläuchen steht am Ende der Strahllinie X-Treme, die er mit aufgebaut



Angeregte Diskussionen gehören dazu: Frithjof Nolting (Mitte) im Gespräch mit den Kollegen Juri A. Honegger (links) und Marcus Schmitt an der Strahllinie X-Treme.

hat. «Ich möchte natürlich auch selbst wieder Experimente durchführen», sagt Nolting. Ein Hauch Wehmut schwingt in seiner Stimme mit. Denn momentan bleibt ihm für die praktische Forschung wenig Zeit. Schliesslich muss er die Zukunft seiner Abteilung im Auge behalten. «Wir müssen rechtzeitig auf neue Technologien aufspringen», betont er. Die Frage sei zum Beispiel, wie sein Labor die neue Grossforschungsanlage SwissFEL für die eigene Forschung am besten nutzen könne. Angelangt am Ausgangspunkt des Rundgangs, steuert Frithjof Nolting zurück in sein Büro. «Damit die Wissenschaftler, Ingenieurinnen und Techniker kreativ arbeiten können, möchte ich in meinem Labor optimale Arbeitsbedingungen schaffen», fasst Nolting zusammen. Denn er ist überzeugt: «Wir müssen Visionen haben – und die richtigen umsetzen.» Dass dies seinem Labor gelingen wird, glaubt man ihm sofort.

## Forschung im Strahlenschutzlabor

# Mit Vitamin gegen Krebs

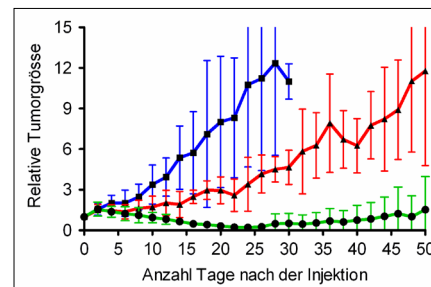
Ob im Müesli, im Pausenbrötchen oder im Beerendessert: Täglich nehmen wir mit unserer Nahrung Folsäure auf. Dieses Vitamin, im Volksmund Lebensvitamin genannt, ist wichtig für die Zellteilung und somit das Wachstum. Doch in Zukunft könnte dem Vitamin noch eine weitere Rolle zukommen. Denn am PSI werden Therapien gegen Krebs entwickelt, die Folsäure nutzen. Das Prinzip ist einfach: Tumorgewebe wächst schnell und benötigt viel Folsäure. Darum kann das Vitamin, das über Folat-rezeptoren in die Zellen aufgenommen wird, als Transportmittel dienen, um gezielt Wirkstoffe in den Tumor zu bringen. Cristina Müller vom Zentrum für Radio-pharmazeutische Wissenschaften forscht an einer entsprechenden Therapie mit radioaktiv markierten Folsäure-Verbindungen. «Diese gelangen wie ein Trojanisches Pferd ungehindert in die Zelle und töten diese dann mit ihrer Strahlung ab», erklärt sie.

### Neue Idee, neue Fragen

Die Pharmazeutin hat die Methode mit den Folsäuremolekülen, den sogenannten Folaten, von Anfang an entwickelt. Als erste Gruppe überhaupt hat das Team um

Müller kürzlich eine neue Art von radioaktiven Folaten in Mäusen getestet. Diese Variante enthält neben der Folsäure, die auf den Rezeptor passt, und dem radioaktiven Molekül, das als das eigentliche Medikament dient, zusätzlich eine Andockstelle für ein Proteinmolekül in der Blutbahn. Dadurch bindet das Dreierkonstrukt an das Protein im Blut und zirkuliert so länger im Körper. Dies erhöht die Aufnahme der Radiofolate in die Tumorzellen. «In Mäusen konnten wir damit bereits einen Rückgang der Tumore bis zu deren Verschwinden nachweisen», freut sich Cristina Müller.

Trotz erster Erfolge gibt es aber noch ein-nige Hürden zu nehmen. «Das Problem ist, dass auch das Nierengewebe viele Folat-



Das am PSI entwickelte Lutetium-Folat bremst das Tumorstadium bei Mäusen. Veränderung der Tumorgrossesse: blau: unbehandelt, rot: mit niedriger Dosis behandelt, grün: mit hoher Dosis behandelt.

rezeptoren enthält und so strahlende Radiofolate aufnimmt», sagt Müller. Dies führe langfristig zu Nierenschäden. Eine mögliche Lösung, die Müller momentan testet, besteht darin, die Nieren mit natürlichen Folaten zu sättigen, sodass die radioaktive Form nicht mehr an die Rezeptoren im Nierengewebe andocken kann.

### Dosimeter obligatorisch

Die Forschung von Cristina Müller findet in einer kontrollierten Zone des PSI statt. Einlass erhält nur, wer registriert ist. Und wer ein persönliches Dosimeter trägt. Dieses misst die Strahlenbelastung und löst Alarm aus, sollte die Belastung das zulässige Mass übersteigen. Für Müller ist das Alltag. «Eigentlich sind wir ein ganz normales Labor», findet sie, während sie in ihren Labormantel schlüpft. Sie lässt das Dosimeter in ihre Brusttasche gleiten und fügt an: «Gefährlich ist unsere Arbeit nicht, solange jeder die Strahlung ernst nimmt.» Denn da man Radioaktivität weder sehen, riechen noch hören kann, müsse man sehr sorgfältig arbeiten. «Deshalb braucht es eine intensive Einführung von neuen Mitarbeitenden, bis der Umgang mit der Radioaktivität und die dazugehörigen Verhaltensregeln selbstver-

ständig sind», erklärt Müller, die derzeit drei Doktorandinnen, sowie einen Masterstudenten und einen Laboranten betreut.

### Schrumpfendes Arbeitsmaterial

Dabei ist Radioaktivität ein ganz natürlicher Prozess: Beim Zerfall von instabilen Atomkernen wird Energie in Form von Strahlung frei. Und je länger ein Stoff strahlt, desto weniger bleibt davon übrig. Was bedeutet, dass das Arbeitsmaterial von Müller ständig weniger wird. «Die eigentliche Herausforderung an unserer Forschung ist deshalb die Planung der Experimente.» Die radioaktiven Stoffe werden entweder am PSI produziert oder aus dem Ausland bestellt. Lutetium beispielsweise kommt aus Deutschland hierher. Trifft die Ladung dann in einem strahlensicheren Bleitopf ein, müssen die Experimente startklar sein – bevor die Ladung zerfallen ist.

Um die radioaktiven Stoffe an die Folate anzuhängen, mischt man die beiden Komponenten zusammen. Die Lüftungshaube, unter der die Fläschchen mit den Radiofolaten stehen, ist durch dicke Bleibarren abgeschirmt, das Dosimeter in Müllers Brusttasche bleibt stumm. Nur beim Hantieren mit den radioaktiven Verbindungen gebe es manchmal tickend eine erhöhte Strahlung an, die jedoch nicht ganz zu vermeiden sei.

Erst nach ausführlichen Vorversuchen mit Zellen finden Experimente im lebenden Organismus statt. Dafür wird einer Maus die zu untersuchende Radiofolat-Verbindung injiziert und das Tier mit einer sogenannten Kleintier-SPECT-Kamera gescannt. Dieses Gerät detektiert die vom Lutetium



Die Mauer aus Bleibarren schirmt Cristina Müller von den radioaktiven Substanzen ab, mit denen sie unter der Lüftungshaube hantiert.

abgegebene Strahlung. Das daraus entstandene Bild macht sichtbar, wo sich die Radiofolate angereichert haben. Um herauszufinden, wie stark die Strahlung die Nieren schädigt, werden diese später entnommen und anhand von dünnen Gewebeschnitten untersucht.

### Forschen für die Praxis

Cristina Müller zieht ihren Labormantel aus. Dann stellt sie sich auf ein Gerät am Ausgang der Garderobe und streckt ihre Hände in die dafür vorgesehenen Nischen. Der Hand-Fuss-Monitor piepst unangenehm, zeigt aber «Nicht kontaminiert» an: Müller kann das Labor unbesorgt verlassen. «Bis wir eine Strahlentherapie für die Kli-

nik anbieten können, dauert es sicherlich noch einige Jahre», sagt Müller. Bevor es soweit ist, sucht Müller nach einer geeigneten Kombination der optimalen Aufnahme der Folate in den Tumor und dem Schutz der Nieren. Dass ihre Arbeit sehr anwendungsorientiert ist, ist Müller wichtig. «Die Aussicht, mit meiner Forschung in Zukunft Krebspatienten helfen zu können, ist eine starke Motivation.»

Originalveröffentlichung:  
**DOTA Conjugate with an Albumin-Binding Entity Enables the First Folic Acid-Targeted <sup>177</sup>Lu-Radionuclide Tumor Therapy in Mice**  
 Cristina Müller, Harriet Struthers, Christian Winiger, Konstantin Zernosekov, Roger Schibli  
*The Journal of Nuclear Medicine*, **54**, 124–131 (2013)



# 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.

## 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 Protonen auf einen Block eines speziellen

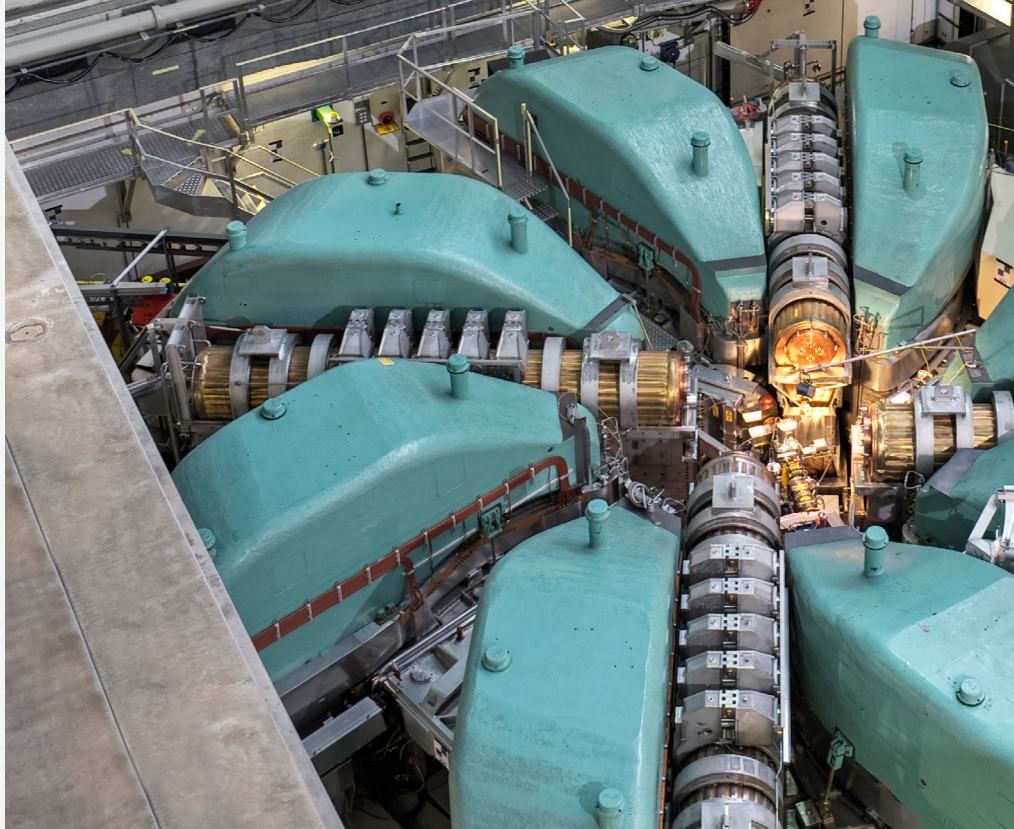
Materials trifft. Der Protonenstrahl wird in der Protonenbeschleunigeranlage des PSI erzeugt. Hier werden die Protonen auf fast 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

### 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 ermöglicht die Quelle ultrakalter Neutronen UCN Untersuchungen zu den Eigenschaften des Neutrons.

### SwissFEL – das Zukunftsprojekt

Zurzeit baut 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.



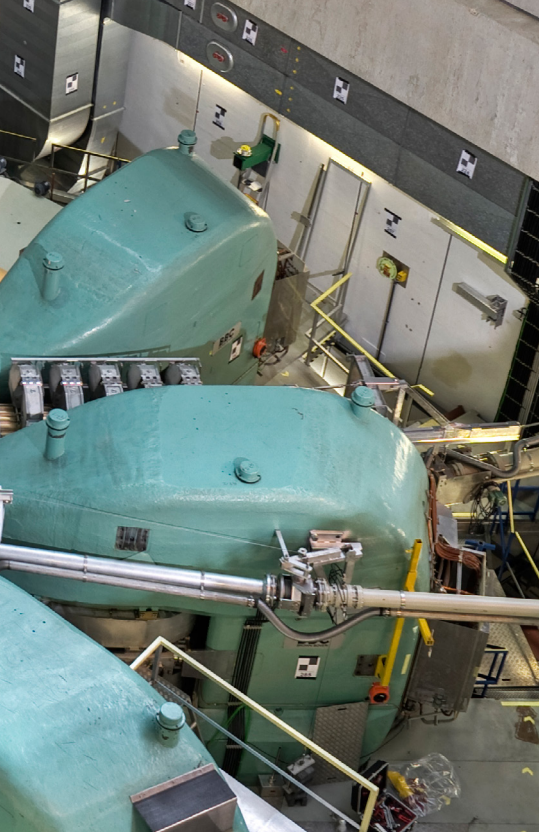
Blick auf den grossen Protonenbeschleuniger, der einen Umfang von rund 48 Metern hat.

## 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  $\mu\text{S}$  – 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 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.

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 erscheinen jedes Jahr mehr als 700 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. Fast 500 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 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. 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](http://www.ccem.ch)).

In der Halle der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS.



# Das PSI im Überblick

## Ausgaben 2012

Die Ausgaben des PSI beliefen sich 2012 auf 337,2 Mio. Franken:

### Die Finanzen des PSI (Mio. Franken)

Ausgaben	Betrag	%
Betrieb	304,2	90,2
Investitionen	33,0	9,8
<b>Gesamt*</b>	<b>337,2</b>	<b>100,0</b>

### Mittelaufteilung

Finanzierungsbeitrag Bund	Betrag	%
– Grundfinanzierung	229,9	68,2
– SwissFEL	19,0	5,6
Drittmittelausgaben	88,3	26,2

### Drittmittleinnahmen

Privatwirtschaft	57,2	53,8
Forschungsförderung Bund	28,5	26,8
EU-Programme	10,2	9,6
Andere Einnahmen	10,5	9,9
<b>Gesamt</b>	<b>106,4</b>	<b>100,0</b>

\* inklusive Personalausgaben von 218,6 Mio. Franken (64,8 % der Gesamtausgaben); ohne aktivierte Eigenleistungen.

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

Festkörperforschung und Materialwissenschaften	39 %
Allgemeine Energie	19 %
Lebenswissenschaften	20 %

Nukleare Energie und Sicherheit	14 %
Teilchenphysik	8 %

## Personal

Die Mitarbeiterzahl am PSI entsprach Ende 2012 rund 1500 Vollzeitstellenäquivalenten. 34,9 Prozent der Stellen sind wissenschaftliches Personal. Hinzu kommen rund 300 Doktorierende, die in der Gesamtmitarbeiterzahl noch nicht berücksichtigt sind. 51,4 Prozent der 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. 6,9 Prozent der Stellen sind der Administration zugeordnet. 25 Prozent der Mitarbeitenden sind Frauen, 47 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 ver-

schiedene 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 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.

# Impressum

Fenster zur Forschung  
Ausgabe 03/2013  
Paul Scherrer Institut, September 2013  
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,  
Simone Nägeli, Dr. Paul Piwnicki (Ltg.)

Gestaltung und Layout: Irma Herzog

Bildbearbeitung: Markus Fischer

Lektorat: Evelyne Gisler

Originalveröffentlichung zum Beitrag  
auf Seite 6 links:  
 **$^{44}\text{Ti}$ ,  $^{26}\text{Al}$  and  $^{53}\text{Mn}$  samples for  
nuclear astrophysics: the needs, the  
possibilities and the sources**  
R. Dressler et al., *J. Phys. G: Nucl. Part.  
Phys.* **39**, 105201 (2012)

Originalveröffentlichung zum Beitrag  
auf Seite 6 rechts:  
**Memory effect in a lithium-ion  
battery**  
Tsuyoshi Sasaki, Yoshio Ukyo &  
Petr Novák  
*Nature Materials* **12**, 569–575 (2013)

Legenden für ganzseitige Bilder:

Seite 3: Messkammer an der  
SIM-Strahllinie der SLS, die lange von  
Frithjof Nolting betreut wurde.

Seite 11: Sabine Mayer leitet die  
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit  
ASI am Paul Scherrer Institut.

Seite 14: Bill Pedrini erklärt sein  
Verfahren zur Auswertung  
von Messungen am Röntgenlaser.

Seite 20: Luftaufnahme des  
Paul Scherrer Instituts.

Fotoaufnahmen:  
Alle Fotos Scanderberg Sauer  
Photography, ausser:  
Seite 7 rechts Frank Reiser  
Seite 6 rechts, Seite 7 links, Seiten 14,  
20, 22 Markus Fischer

Weitere Exemplare zu beziehen bei:  
Paul Scherrer Institut  
Kommunikationsdienste  
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.psiforum.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 Wirtschaftswissenschaftler «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.

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 1500 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.