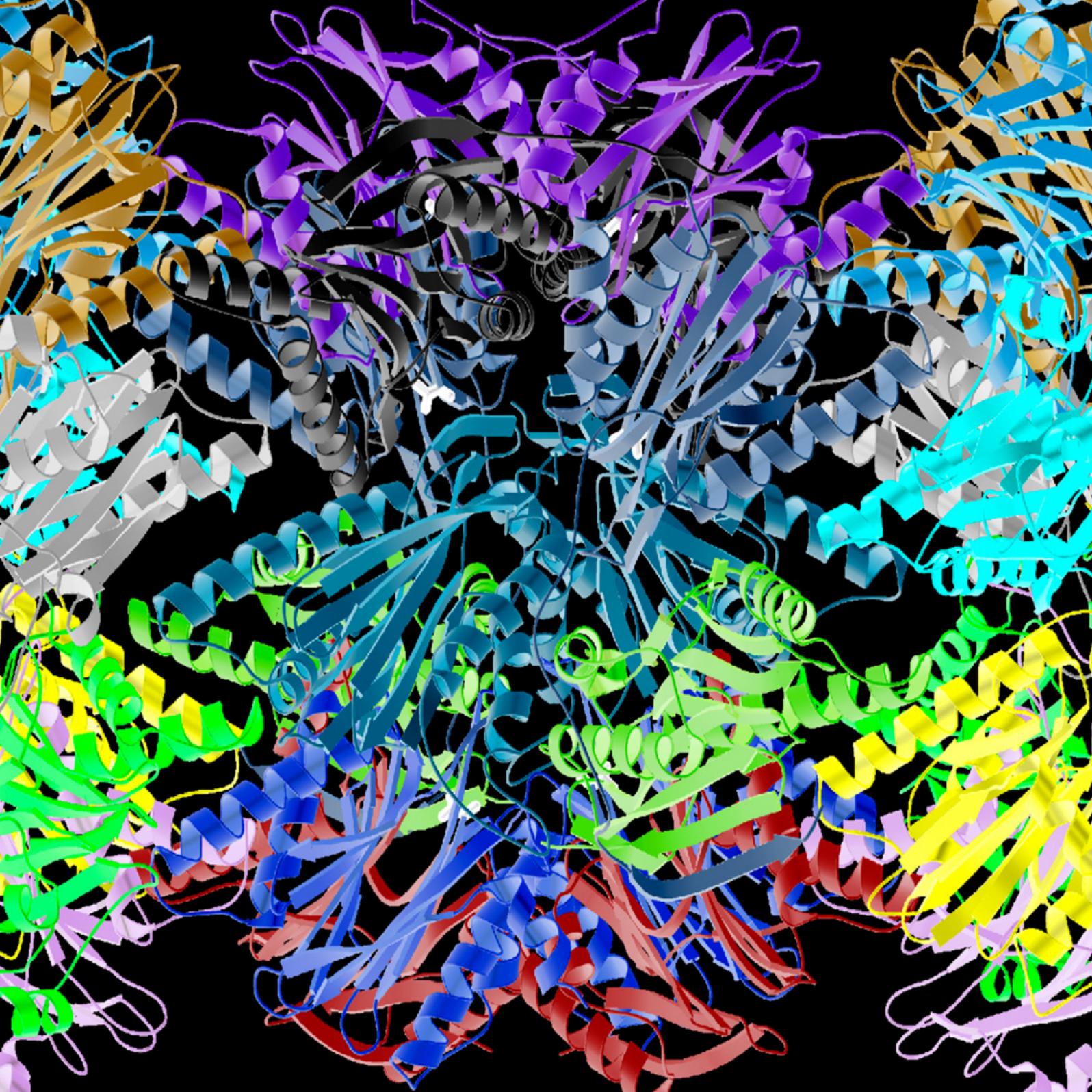


# Fenster zur Forschung

PAUL SCHERRER INSTITUT







# Inhalt

5	Dem Nachwuchs eine Perspektive bieten
6 / 7	In Kürze: Lecksuch-Kurs Charakterisierung Ascheverteilung Ultraschnell
8 / 9	Eiskalte Erkenntnisse
10 / 11	Blei und Holz vertragen sich nicht
12 – 14	Vision «Energy-Hub»
15 – 17	Der Schlüssel liegt im Bauplan
18 / 19	Feuerprobe für den SwissFEL
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

Grundpfeiler einer erfolgreichen Gesellschaft sind Wissen und Innovation. Eine solche Gesellschaft braucht in jeder Generation gut ausgebildete Fachkräfte. Es ist jedoch ein gesellschaftliches Paradox, dass das Interesse der Bevölkerung, sich in naturwissenschaftlichen Fächern auszubilden, umso geringer wird, je höher der Wohlstand eines Landes ist. Das gilt auch für die Schweiz: Sie wurde zwar 2011 als das innovativste Land der Welt ermittelt, liegt aber weit abgeschlagen, wenn es um die Frage geht, ob der Nachwuchs sich für eine Ausbildung in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften oder Technik (MINT) entschieden hat. Dabei sind die Möglichkeiten, sich in diesen Disziplinen ausbilden zu lassen, in der Schweiz hervorragend. Mit dem dualen Ausbildungssystem erhalten Lernende sowohl eine praktische als auch schulische Berufsausbildung. Keine Selbstverständlichkeit in Europa.

Am PSI bilden wir junge Leute in MINT-Berufen wie Automatiker, Chemielaborantin, Elektroniker, Informatikerin, Polymechaniker oder Physiklaborantin aus. Modernste Werkstätten in einer Hightechumgebung bieten den Jugendlichen Chancen, sich über das übliche Mass hinaus zu qualifizieren. Das spiegelt sich in vielen Auszeichnungen wider. Sei es ein «Hervorragend» bei «Schweizer Jugend forscht» oder der Titel «Schweizermeister» unter den Elektronikern bei den Swissmem-Berufsmeis-

## Dem Nachwuchs eine Perspektive bieten



terschaften. Insgesamt bilden wir am PSI 92 Lernende in 14 Berufen aus.

MINT-Spezialisten fehlen der Schweiz jedoch nicht nur bei den Berufsleuten, auch bei den Hochschulabsolventen ist der Bedarf nicht gedeckt. Mit den beiden ETH stehen MINT-Studienorte von Weltruhm zur Verfügung, und auch die Fachhochschulen und Universitäten brauchen einen Vergleich mit dem Ausland nicht zu scheuen. Wie also die Scheu der Schülerinnen und Schüler überwinden, sich für eine solche Karriere zu entscheiden? Am PSI haben wir vor 5 Jahren ein Schülerlabor eingerichtet, mit dem wir zeigen wollen, dass Physik Spass machen kann. Bisher hatten wir über 10 000 Schülerinnen und Schüler zu

Gast, die uns am Ende ihres Besuchstages mit grosser Mehrheit zugestimmt haben. Denn die Schüler können bei uns selbst experimentieren. Und im Anschluss erleben sie bei einem Rundgang durch die Grossforschungsanlagen, wie das Erlernete im beruflichen Alltag der Forscher zur Anwendung kommt. Das PSI wünscht sich, dass Schülerinnen und Schüler künftig in jedem Kanton 1 bis 2 Schülerlabore zu einem MINT-Fach vorfinden. Angesiedelt sein sollten sie bei der forschenden Industrie und Akademie.

Professor Dr. Joël Mesot  
Direktor Paul Scherrer Institut

## Lecksuch-Kurs

Die Vakuumtechnik spielt bei vielen industriellen Prozessen eine bedeutende Rolle, etwa in der Fertigung von Mikroelektronik. Durch den Betrieb von Teilchenbeschleunigern verfügt auch das PSI über eine breite



In Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Vakuumgesellschaft swissvacuum wurde am PSI der zweite Vakuum-Lecksuchkurs durchgeführt. 40 Teilnehmende übten die Lecksuche bei Vakuumanlagen.

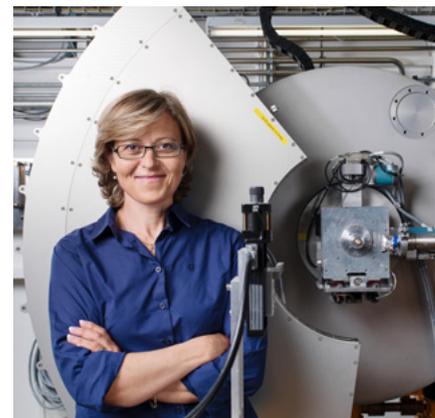
Erfahrung auf diesem Gebiet. So benötigt etwa der Speicherring der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS ein Ultrahochvakuum, damit die kreisenden Elektronen nicht mit Luftmolekülen kollidieren. Schon ein Loch von der Grösse eines Tausendstelmillimeters käme einem signifikanten Leck gleich. Solche undichten Stellen rasch und zuverlässig ausfindig zu machen, stellt auch für Industriefirmen wertvolles Wissen dar. Im Mai 2012 hat das PSI im Namen der Schweizerischen Vakuumgesellschaft swissvacuum einen Kurs zur Vakuum-Lecksuche durchgeführt. «Von den rund

40 Teilnehmern stammen drei Viertel aus der hiesigen Industrie, die anderen aus der Forschung», resümiert Mike Seidel, Organisator des Kurses und Leiter der Abteilung Beschleuniger, Betrieb und Entwicklung am PSI. Die Übungen umfassten verschiedene Methoden der Dichtheitsprüfung und Lecksuche bei variierenden Druckbereichen. «Die meistgenutzte Art der Lecksuche erfolgt durch Einsprühen des Bauteils, in dem sich das Vakuum befindet, mit Helium. Das Gas diffundiert durch das Leck und wird im Inneren nachgewiesen», so Seidel, der das PSI im Vorstand von swissvacuum vertritt. Die Gesellschaft hat zum Ziel, das Wissen um die Anwendungen des Vakuums zu fördern. Mit der Vermittlung von relevantem Praxis-Knowhow leistet das PSI seinerseits einen Beitrag, die Vernetzung von Forschung und Industrie in der Schweiz voranzutreiben.

## Charakterisierung

Es ist erstaunlich: Auf den ersten Blick ist es zweimal das gleiche Medikament mit zweimal der gleichen Zusammensetzung. Und doch ist die Wirkung offenbar verschieden. Schuld ist die unterschiedliche Struktur – die molekularen Bestandteile im Inneren der Tabletten sind zwar gleich, aber verschieden angeordnet. Für die Unternehmen der pharmazeutischen Industrie ist das eine Herausforderung, denn sie

müssen nun zuverlässig bestimmen können, welche Strukturen bei welchen Produktionsverfahren entstehen und welche die beste Wirkung haben. Hier hilft ihnen die Brüsseler Firma Excelsus Structural Solutions (ESS) – ein Spin-off des PSI, gegründet von der langjährigen PSI-Forscherin Fabia Gozzo. «Für unsere Kunden bestimmen wir an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI die genaue Struktur der Substanzen», erklärt die Neuunternehmerin «und auch, wie sich die Substanz mit der Zeit verändert. Gegenwärtig sind wir dabei, die Methode zu validieren, sodass sie auch bei der Zulassung von Medikamenten akzeptiert wird.» Die Messzeit kauft ESS beim PSI zu üblichen Konditionen; die Messungen führt Gozzo selbst durch. Schliesslich hat sie den Messplatz an der SLS, an dem sie arbeitet, mitaufgebaut und über Jahre betreut. So kann sie flexibel auf Anfragen reagieren und auch kurze Zeiten nutzen, in denen

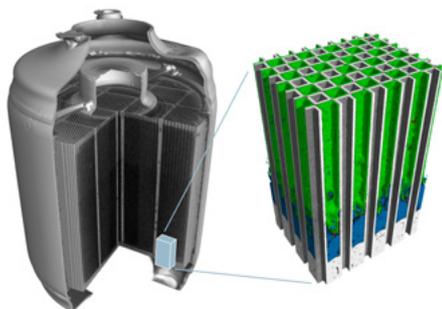


Fabia Gozzo an der Materialforschungsstrahllinie der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS.

der Messplatz verfügbar ist. Das PSI unterstützt den Ansatz, durch den neue Industriekunden für Untersuchungen an der SLS gewonnen werden können. [www.excel.us](http://www.excel.us)

## Ascheverteilung

Dieselmotoren sind heute serienmässig mit einem Partikelfilter ausgestattet; er ist im Zuge der Abgasnorm Euro5 Stan-



Neutronentomografie eines beladenen Dieselpartikelfilters. grau: Filter, grün: Russ, blau: Asche.

dard. Der Filter verhindert, dass Russ und Aschepartikel aus den Abgasen in die Umwelt gelangen. Die Partikel lagern sich an den Wänden des Filters an. Wird der Filter zu voll, wird der Russ zu CO<sub>2</sub> abgebrannt. Das passiert etwa alle 500 bis 1000 km. Die Asche aber bleibt im Filter zurück. Erst wenn der Filter mit Asche gefüllt ist, muss er gegen einen neuen ausgetauscht werden.

Was im Detail im Filter mit dem Russ und der Asche passiert, konnte man bisher

nicht genau bestimmen. Beim herkömmlichen Röntgen kann man nur die Asche sichtbar machen, den Russ jedoch nicht. Hier kommt das PSI zu Hilfe. Mit Neutronentomografie-Untersuchungen lässt sich die Russ- und Ascheverteilung sehr deutlich abbilden. So gewinnt die Automobil- und Zulieferindustrie neue Erkenntnisse darüber, wie sich der Russ im Filter genau verteilt. Daraus kann man ablesen, wie zukünftige Filtergeometrien aussehen müssen, damit sich das Abgas gleichmässig im ganzen Filter verteilt und mit ihm die Ablagerungen. So würde der Filter optimal genutzt und müsste seltener ersetzt werden.

## Ultraschnell

Wir verstehen heute zwar gut, wie Datenspeicherung auf Festplatten funktioniert. Unklar ist jedoch, wie schnell man im Prinzip Daten schreiben und lesen könnte – die verfügbaren Untersuchungsverfahren sind einfach zu langsam. Das soll sich nun dank der Freie-Elektronen-Röntgenlaser wie dem SwissFEL des PSI ändern. An diesen Anlagen werden Forschende schnelle magnetische Veränderungen gewissermassen filmen können. Dass das tatsächlich funktioniert, hat nun ein Forschungsteam unter PSI-Leitung in einem Experiment am amerikanischen Röntgenlaser LCLS gezeigt. Es hat sich die magnetischen Momente in der Substanz Kupferoxid angesehen – diese

kann man sich als winzige Magnete vorstellen, die mit einzelnen Atomen des Materials verbunden sind. In einer Festplatte speichert man Informationen, indem man diese Magnete in einer bestimmten Weise ausrichtet; im Kupferoxid hängt ihre Anordnung von der Temperatur ab. Unter minus 60 Grad Celsius sieht sie anders aus als darüber. Im Versuch fingen die Forscher mit einer «kalten» Probe an, heizten sie rasch auf und durchleuchteten sie dann mit einem kurzen Puls aus dem Röntgenlaser. Indem sie den Abstand zwischen Aufheizen und Durchleuchten variierten, konnten sie verschiedene Stufen der Veränderung beobachten. Das Ergebnis: Es dauert etwa



Urs Staub (links) und Steven Johnson haben gezeigt, dass man mit Freie-Elektronen-Röntgenlasern schnelle magnetische Vorgänge verfolgen kann.

400 Femtosekunden, bis die Struktur anfängt, sich sichtbar zu verändern. Ähnliche Experimente sollen zeigen, wie die Geschwindigkeitslimiten für neuartige Speichermaterialien verbessert werden können.

Porträt Anja Eichler

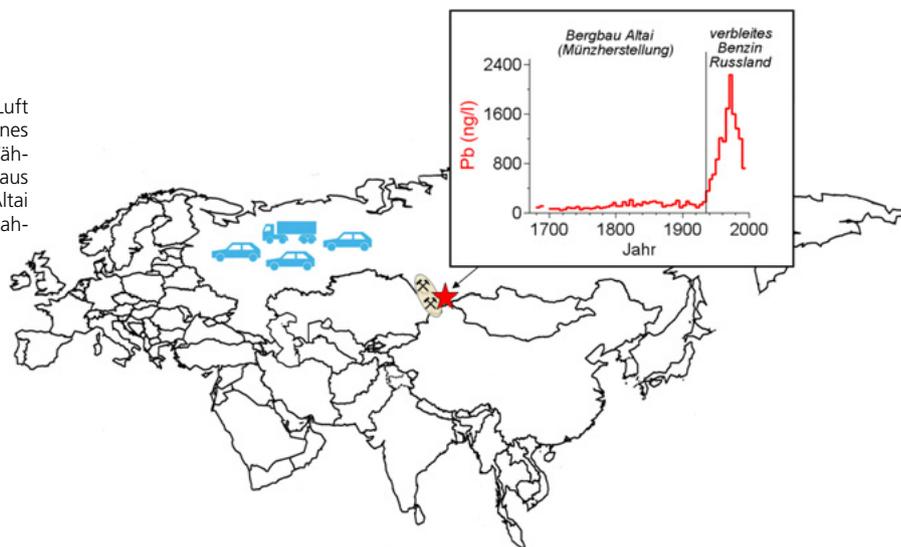
## Eiskalte Erkenntnisse



Die Chemikerin Anja Eichler arbeitet gern in die Tiefe. Oberflächliches liegt ihr nicht. Tiefe heisst im Fall der Gruppe Analytische Chemie um Margit Schwikowski schon mal 200 Meter. So tief reicht das Bohrgerät des PSI, mit dem die Gruppe unter oft abenteuerlichen Bedingungen Eis aus abgelegenen Gletschern bohrt. Dabei entstehen Eisbohrkerne, die mit grösster Sorgfalt in die Schweiz transportiert und in der Kältekammer des PSI gelagert werden. Dort beginnt die Arbeit der Chemikerin: Stück für Stück wird das Eis zersägt, geschmolzen und analysiert. Das Zersägen eines solchen 200 Meter langen Kerns in der fensterlosen Kühlkammer des PSI erfordert bis zu zwei Jahre Arbeit in dicker Daunenjacke bei minus 20 Grad. Eichler erzählt: «Das Unangenehmste sind die kalten Finger. Da wir das Eis nicht verunreinigen dürfen, müssen wir Plastikhandschuhe tragen. Und unter die passen keine dicken Handschuhe.»

Frieren gehört dazu, will man die einzigartige Möglichkeit nutzen, aus jahrhundertaltem Eis Erkenntnisse über die Umweltbedingungen vergangener Zeiten zu gewinnen. Dabei müssen die Proben zunächst datiert werden, damit man die Analyseergebnisse den Zeitperioden zuordnen

Bleikonzentrationen im Zeitraum 1680–1995 in der Luft in Russland, rekonstruiert anhand eines Eisbohrkernes vom Belukha Gletscher im sibirischen Altai-Gebirge. Während das Blei in der Zeit 1680–1935 hauptsächlich aus dem Bergbau für die russische Münzherstellung im Altai stammt, ist die dominierende Quelle seit den 1930er-Jahren das verbleite Benzin in Russland.



kann. «Da stützen wir uns unter anderem auf historische Ereignisse wie Vulkanausbrüche, die wir anhand von hohen Schwefelkonzentrationen im Eis wiederfinden.»

Was Anja Eichler besonders freut: «Wir arbeiten an vorderster Front bei der Klima- und Umweltforschung. Unsere Erkenntnisse werden in die Publikationen des Weltklimarates aufgenommen.»

### Detektivarbeit

Gerade eben hat ihre Gruppe die Bleiver- schmutzung in der Luft in Russland seit 1680 anhand eines Bohrkerns vom Belukha-Gletscher im Altai-Gebirge bestimmt. Nach der Analyse begann dafür Detektivarbeit, die Eichler als sehr spannend erlebt. Sie sucht in historischen Quellen nach den Gründen für die Auffälligkeiten, die sie gemessen hat. «1770, zur Zeit Katharinas der Grossen, stieg der Bleigehalt auffallend an. Sie hatte den Abbau von Silber zur Münzherstellung angeordnet.» Zudem kann man den Beginn der Industrialisierung deutlich am Anstieg der Werte ablesen.

Eichler liebt an ihrem Beruf, dass sie herausfinden kann, «aus was die Dinge bestehen». So kam sie auch zur Chemie. Ihre Lehrerin hatte die Klasse 16-Jähriger in ein

Lebensmittelinstitut mitgenommen, das Honig untersuchte. «Es hat mich fasziniert, welch geringe Mengen an Luftschadstoffen man auch in diesem Produkt noch nachweisen konnte», erinnert sie sich. Das Chemiestudium war gesetzt, sie studierte in Dresden und Darmstadt. Nach ihrer Promotion in Bern und am PSI machte sie Kinderpause.

### Teilzeit-Chance dank Stiftung

Heute arbeitet sie auf einer 50 %-Stelle. Den Wiedereinstieg ermöglichte ihr der «Marie Heim-Vögtlin Beitrag» (MHV) des Schweizerischen Nationalfonds. Das nach der ersten Schweizer Ärztin benannte Programm unterstützt den Wiedereinstieg in die Forschung nach einer Pause aus familiären Gründen. Seit einiger Zeit bietet auch das PSI ein ähnliches Wiedereinstiegsprogramm an. Eichler ist sehr froh über diese Chance. So konnte sie zwei Jahre lang zeigen, dass wissenschaftliche Arbeit auf ho-

hem Niveau auch in Teilzeit möglich ist. Unerlässlich hierfür seien jedoch die grosse Unterstützung durch Gruppenleiterin, Kollegen und Familie. «Es ist nicht immer einfach, erfordert Kompromissbereitschaft von allen Seiten und Organisationstalent», betont sie.

Direkt im Anschluss an das MHV-Programm erhielt Eichler eine Festanstellung. Die Hälfte ihrer Zeit widmet sie der wissenschaftlichen Detektivarbeit. Zudem ist sie für die chemischen Analysen verantwortlich, die Mitarbeiter des PSI in der Gruppe für Analytische Chemie durchführen lassen können.

Originalveröffentlichung:  
**Three Centuries of Eastern European and Altai Lead Emissions Recorded in a Belukha Ice Core**  
 A. Eichler, L. Tobler, S. Eyrikh, G. Gramlich, N. Malygina, T. Papina, M. Schwikowski, *Environmental Science & Technology*. Vol. 46, No. 8, pp. 4323 – 4330 (2012).

## Werk aus Spanischer Avantgarde von Zerstörung bedroht

# Blei und Holz vertragen sich nicht

Ein Albtraum für jedes Museum: Ein Schlüsselwerk ist scheinbar unaufhaltsam vom Zerfall bedroht. Die Konservatoren wissen das seit Jahren und müssen hilflos zusehen. Und sie wissen, dass die Zerstörung, die sich an der Oberfläche zeigt, nur ein Bruchteil des wahren Schadens ist.

Vor dieser Katastrophe stand Alex Masalles, Konservator des Museo Nacional de Arte de Catalunya (MNAC) in Barcelona. Beim Schlüsselwerk handelt es sich um «El violinista», das Pablo Gargallo (1881–1934), einer der wichtigsten Bildhauer der spanischen Avantgarde und ein enger Freund von Pablo Picasso, 1920 geschaffen hat. Gargallo entwickelte einen Skulpturstil, der darauf basierte, aus Stücken flacher Metallplatten Dreidimensionales herzustellen.

### Verhängnisvolles Experiment

Der experimentierfreudige Bildhauer arbeitete in dieser Zeit mit Bleiplatten, die sich leicht bearbeiten liessen. «El violinista» ist wahrscheinlich das erste Werk dieser Phase. Das wird ihm heute zum Verhängnis. Denn Gargallo schuf zuerst einen Holzkern, auf den er anschliessend die Bleiplatten aufnagelte. Für die weiteren Bleiplastiken wagte er es, auf diesen Kern zu verzichten, dafür

stellte er sie aus dickeren Platten her. Das macht «el violinista» zu einer einzigartigen und umso wertvolleren Skulptur aus Gargallos Schaffen.

Gleichzeitig ist die spezielle Herstellungsart heute das Problem: Einerseits ist die Skulptur extrem fragil, da die nur 2 mm



David Mannes erstellte mit Neutronentomografie Bilder vom Zerstörungsgrad eines Kunstwerks, mit deren Hilfe die Restauratoren nun eine Strategie zur Rettung entwickeln können.

dünnen Platten sehr leicht beschädigt werden können, was an mehreren Stellen bereits passiert ist. Andererseits bildete sich im Laufe der Jahrzehnte durch die Ausdünstungen des Holzes Bleikarbonat. Das Blei korrodierte.

Die Plastik war an beiden Beinen schon so stark betroffen, dass sich das Blei aufwölbte und weisses Pulver herausrieselte. Rücken, Nacken und rechte Schulter zeigten ähnliche Wölbungen – eine Katastrophe für das Museum. Um zu sehen, wie der Zustand im Inneren ist, hätte man die Skulptur zerlegen müssen – undenkbar für solch ein fragiles, einzigartiges Kunstwerk. Üblicherweise würden Konservatoren in solch einem Fall das Werk röntgen. Nur kam das für Gargallos Werk nicht infrage. Da es aus Blei besteht, kämen Röntgenstrahlen gar nicht durch.

### Rettung am PSI

Da kam der Zufall zu Hilfe. Masalles besuchte einen Kongress in Florenz, an dem Eberhard Lehmann vom PSI über seine Erfolge mit Neutronenradiografie bei der Untersuchung antiker Bronzeskulpturen berichtete. Hier hätte herkömmliches Röntgen ebenfalls keine Ergebnisse geliefert.



Ansicht der Skulptur im Volumendatensatz der Neutronentomografie; die äussere Bleihülle wird semitransparent angezeigt, während der innere Holzkern in der Visualisierung blau eingefärbt ist

Schnell war der Kontakt hergestellt und «El violinista» trat seine Reise ans PSI an – in einer massgeschneiderten Verpackung, mit Sensoren für die Registrierung von Stössen versehen, um Schäden zu vermeiden. Das Objekt ist so fragil, dass es das Museum bisher noch kaum je verlassen hat.

Mit Neutronentomografie kann man am PSI, ähnlich wie mit Röntgenstrahlen, ins Innere eines Gegenstandes sehen, ohne ihn dafür zerstören zu müssen. Nur können Neutronen, anders als Röntgenstrahlen, die meisten Metalle und selbst Blei problemlos durchdringen. Auf seinem Weg durch die Probe wird der Neutronenstrahl, je nach Eigenschaften des durchdrungenen Materials, unterschiedlich stark abgeschwächt. Aus der gemessenen Abschwächung kann man auf Form und Art des Materials Rück-

schlüsse ziehen und ein detailliertes Bild errechnen. Eine Unsicherheit blieb: Holz stellt in der Neutronentomografie ein grosses Hindernis dar, da es Wasserstoff enthält, der Neutronen stark ablenkt. David Mannes, der die Messungen am PSI betreut hat, berichtet von den Bedenken: «Dass wir gute Bilder der Bleiplatten bekommen würden, war klar. Aber ob wir den Holzkern der Skulptur mit unseren Strahlen durchdringen könnten, wussten wir nicht.»

### Tausende Bilder zusammengesetzt

Die Untersuchungen wurden an der Strahllinie NEUTRA an der Spallations-Neutronenquelle SINQ des PSI durchgeführt. Da die Skulptur grösser ist als der maximale Ausschnitt, den man an der NEUTRA auf einmal abbilden kann, musste sie in zwei vollen Umdrehungen gemessen werden – erst die obere, dann die untere Hälfte. Für die beiden Abschnitte wurden jeweils 1125 Aufnahmen mit einer Belichtungszeit von 20 Sekunden pro Bild gemacht und die Skulptur dabei langsam um die eigene Achse gedreht. Nachdem die Messung nach gut 15 Stunden beendet war, wurden die Aufnahmen aus verschiedenen Blickwinkeln benutzt, um am Computer ein dreidimensionales Bild der Skulptur zu rekonstruieren. David Mannes

war überrascht, wie aussagekräftig die Bilder waren. «In den Ärmeln erkannten wir Holzspäne, die sich gelöst hatten. Und wir können genau sehen, wo die insgesamt 34 Nägel sitzen, die Blei und Holzkern zusammenhalten.»

### Basis für Restaurationsstrategie

Auch Alex Masalles war begeistert, da man anhand der Bilder nachvollziehen kann, dass die Arme aus demselben Holzblock geschnitzt sind wie der Rest des Körpers. Und an Stellen, an denen das Holz dünner ist, kann man sogar die Maserung auf den Bildern erkennen. So viel Aussagekraft der Bilder hatte niemand erwartet. So konnte der Konservator sogar noch mit neuem Wissen über den Entstehungsprozess der Skulptur nach Hause reisen.

David Mannes bestimmte für Masalles weitere Arbeit die Regionen, die von Korrosionsprozessen befallen sind. Der Grossteil ist von aussen noch nicht sichtbar. Vor allem Beine und die linke Hand sind stark betroffen. Hier wird der Konservator wohl ansetzen müssen. Nur wie? Im Moment sieht es so aus, als müsste er die Statue vorsichtig an den Stellen auseinandernehmen, an denen der Künstler sie aus den Platten zusammengefügt hat und auch den Holzkern ersetzen. Aber all das will wegen der Empfindlichkeit sorgfältig abgewägt sein.



## Interview mit Alexander Wokaun

# Vision «Energy Hub»

**Herr Wokaun, im Rahmen der Energiestrategie 2050 will die Schweiz ihre Kernkraftwerke sukzessive abschalten. Wie geht es dann weiter?**

Mit dem angestrebten Ausbau der erneuerbaren Energie dürfen wir nicht mehr nur an grosse Kraftwerke denken; die Energieversorgung wird lokaler organisiert. Auch in Zukunft braucht es grosse Kraftwerke, aber dazu kommen Tausende kleiner Anlagen, die Elektrizität produzieren.

**Woher wird unsere Elektrizität also künftig kommen?**

Mehr als 50 % des Bedarfs wird weiterhin die Wasserkraft abdecken. Das Ziel ist, zusätzlich mindestens ein Drittel des Bedarfs aus neuen erneuerbaren Energien zu gewinnen, also aus Sonnenenergie, Biomassevergasung, Erdwärme und Wind. Gaskraftwerke werden wohl benötigt, um die Versorgung der energieintensiven Betriebe sicherzustellen und um für Engpässe bereitzustehen. Diese ergeben sich etwa daraus, dass Windenergie und Solarstrom nicht immer zur Verfügung stehen und die Sonnenenergie noch dazu jahreszeitlich schwankt. All das muss man beim Aufbau der künftigen Versorgung berücksichtigen, die vollkom-

men neu strukturierte Verteilnetze erfordert.

**Wie muss man sich künftig das Stromnetz vorstellen?**

Ein Netz, in das viele Quellen an verschiedenen Orten einspeisen, muss anders aufgebaut sein als das heutige. Windkraftanlagen muss man dort aufstellen, wo genug Wind weht. Auf lokaler Ebene müssen die Verteilnetze künftig mit «Intelligenz» ausgestattet sein und Strom in beide Richtungen leiten können, statt einfach nur als «Leitungsbahnen» zum Endverbraucher zu dienen. Diese intelligente Steuerung muss messen können, was an welchem Ort gerade eingespeist und welche Leistung von den Verbrauchern angefordert wird, um entsprechend zu reagieren.

**Hier kommt Ihre Vision des «Energy Hub» ins Spiel.**

Mit dieser Energiedrehscheibe wollen wir erreichen, dass Gemeinden und Stadtviertel ihren Energiebedarf selbst regulieren und auch bezüglich der Leistung autarker werden als heute. Dazu braucht es ein hybrides Energiesystem. Heute werden Elektrizitäts-, Gas- und Fernwärmenetze

unabhängig voneinander betrieben. All diese Netze wären künftig gekoppelt und müssten in beide Richtungen funktionieren.

**Die Netze sollen in beide Richtungen funktionieren – wie muss man sich das vorstellen?**

Strom muss am gleichen Punkt eingespeist und bezogen werden können. Was die Koppelung der Energieträger betrifft: Wenn ein Rechenzentrum mit Elektrizität gekühlt wird, sollte die entstehende Abwärme ebenfalls wieder verteilt und genutzt werden können. Dazu benötigt die Zentrale die Information, wo gerade Wärme gebraucht wird.

**Die heutigen Netze könnte man dafür nicht nutzen?**

Die Netze werden neben den Energieträgern auch Information übertragen, man wird sie koppeln und integriert betreiben. Das Zentrum des Ganzen wäre ein «intelligentes Herz», der erwähnte Energy Hub. Er stimmt die Systeme aufeinander ab und sorgt für die Kommunikation untereinander. Jeder Stadtteil oder jede grössere Gemeinde könnte so ihre Energieverteilung so weit wie möglich selbst regeln. Die verschie-

denen Energy Hubs würden auf einer höheren Netzebene miteinander verbunden. An dieser Vision arbeiten wir zusammen mit Professor Jan Carmeliet von der Empa.

### Was muss dieser Energy Hub leisten?

Hier fließen die Informationen zusammen: Welche Solarstromanlage liefert gerade wie viel Leistung? Wird in der Biogasanlage momentan überschüssiges Gas produziert, das man speichern muss, oder sollte man daraus Elektrizität produzieren, weil die Solaranlagen gerade kaum liefern? Mit dieser Versorgungsstrategie muss der Tageslauf abgedeckt werden – wir kennen die Morgen- und Abendspitzen, mittags wird gekocht, nachts zwischen zwei und vier Uhr wird am wenigsten Energie verbraucht.

### Welche Folgen hätte das Konzept für die überregionalen Versorger?

Im zukünftigen System mit einem grossen Anteil verteilter erneuerbarer Energien hätten die regionalen und überregionalen Versorger dank der lokalen Selbstregulation mit wesentlich geringeren Schwankungen von Angebot und Nachfrage zu arbeiten – das Lastmanagement wäre teilweise dezentral. Die Stabilität wäre einfacher sicherzustellen als wenn alle unkoordiniert einspeisen und Energie beziehen. Es gäbe dann viele dezentrale, intelligent gesteuerte Versorger und wenige grosse Kraftwerke, die etwa die Grundlast für die energieintensiven Industriezweige sichern.

### Wie muss man sich diese regionale Steuerung vorstellen?

Nehmen wir an, die Produktionseinheiten sind bekannt, die Leistung messbar, wir kennen die Verbraucher und wissen, ob sie flexibel sind. Ein gut isoliertes Haus hält die Wärme beispielsweise mindestens einen Tag, erst dann muss die Wärmepumpe wieder anspringen. Das kann mitten in der Nacht vorgesehen werden, wenn die Nachfrage ihren tiefsten Punkt erreicht hat. Auch Elektroautos muss man nicht zwingend direkt nach der Ankunft zuhause laden. Das Lastmanagement liefere über den Energy Hub.

### Angenommen, an einem schönen Sommersonntag wird enorm viel Solarstrom eingespeist, der aber gerade nicht benötigt wird.

Dann würde die Energie zuerst in Batterien gespeichert. Dafür entwickelt man leistungsfähige und kosteneffiziente Varianten, die zum Beispiel im Keller Platz fänden. Das Gewicht ist hier nicht so entscheidend wie für Elektroautos oder Hybridfahrzeuge.

### Falls die Batterien irgendwann voll sind – wohin dann mit dem Überschuss an Energie?

Dann würde daraus mit einem Elektrolyseur im Hub Wasserstoff produziert und gespeichert. Diesen könnten die Anwohner an der lokalen Wasserstofftankstelle in den Tank ihres Brennstoffzellenfahrzeugs

### Zur Person

Alexander Wokaun (59) ist seit 1994 Leiter des Forschungsbereiches Allgemeine Energie am PSI und Professor für Chemie an der ETH Zürich. Der gebürtige Österreicher studierte Chemie an der ETH Zürich. Nach einem Forschungsaufenthalt in den USA habilitierte er sich 1982 an der ETH Zürich und wurde 1986 an den Lehrstuhl für Physikalische Chemie an der Uni Bayreuth berufen. In seiner Freizeit beschäftigt er sich mit Kunst und Musik und sucht den Ausgleich in der Natur.

Alexander Wokaun entwickelt zusammen mit Jan Carmeliet von der Empa die Vision des Energy Hub weiter, die erstmals von Göran Andersson und Klaus Fröhlich von der ETH Zürich formuliert wurde. Die Herausforderung besteht darin, das Konzept von der «grünen Wiese» unter Einbezug neuester technischer Optionen auf bestehende Stadtviertel und Gemeinden zu übertragen.

füllen. Diese Nutzung im Verkehr ist viel attraktiver als eine einfache Wiederverstromung des Wasserstoffs. Die Kombination von elektrischem Antrieb und Brennstoffzelle ist ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zu einer Mobilität ohne fossile Treibstoffe.

# Autoimmunerkrankungen

## Der Schlüssel liegt im Bauplan

Proteine nehmen in Zellen unterschiedlichste Funktionen wahr: Als Strukturproteine stabilisieren sie diese und verleihen ihnen ihre Form. Als Enzyme wiederum stellen sie all die molekularen Maschinen dar, die zusammen den Zellstoffwechsel bewerkstelligen. Einer dieser biochemischen Akteure ist das Immunoproteasom: Ähnlich einem Nano-Schredder zerlegt das Molekül andere Proteine in kleine Bruchstücke. Werden diese Eiweißteile vom Immunsystem als «körperfremd» erkannt, wird die Zelle vernichtet. Bei Autoimmunerkrankungen wie Rheuma ist dieser Prozess ausser Kontrolle geraten, sodass das Immunsystem fälschlicherweise körpereigenes Gewebe angreift. Eine Hemmung des Immunoproteasoms könnte hier Abhilfe schaffen. Da jedoch dessen atomare Struktur bislang nicht bekannt war, gestaltete sich die Suche nach Wirkstoffen schwierig. Die Biochemikerin Eva Maria Huber hat nun im Rahmen ihrer Dissertation einen Durchbruch erreicht: Zusammen mit ihrem Doktorvater Michael Groll, Professor für Biochemie an der Technischen Universität München (TUM), und Immunologen der Universität Konstanz ist es ihr gelungen, die Struktur des Immunoproteasoms

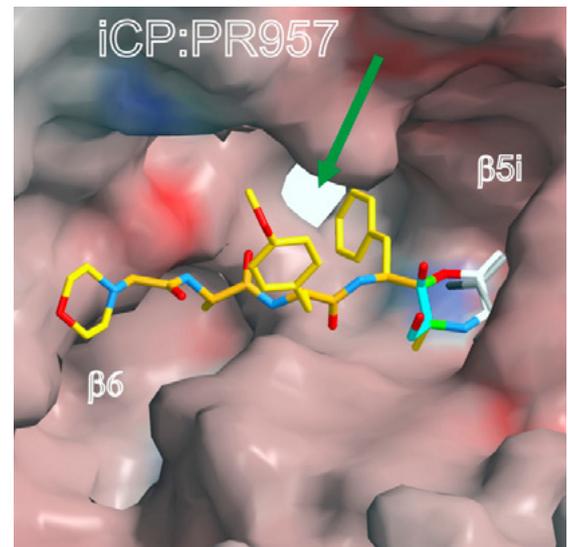
mithilfe von Messungen am Paul Scherrer Institut aufzuklären.

### Gestörtes Gleichgewicht

Das Immunoproteasom ist eine spezialisierte Form des normalen, sogenannten «konstitutiven» Proteasoms. Dieses spielt in den Zellen des Körpers eine lebenswichtige Rolle: Ähnlich einer Recyclinganlage zerlegt es nicht mehr benötigte oder defekte Proteine in kleinere Stücke, sodass diese wiederverwertet werden können. Als wichtiger Partner des Immunsystems produziert das Immunoproteasom vermehrt Eiweißbruchstücke, die dem Immunsystem als sogenannte «Antigene» an der Zelloberfläche präsentiert werden. Handelt es sich dabei um ein Fragment eines körperfremden Eiweisses, etwa von einem zuvor eingedrungenen Virus, wird die infizierte Zelle vom Immunsystem vernichtet.

Bei manchen Krebsarten sowie bei Autoimmunerkrankungen wie Rheuma, Diabetes

Typ I und Multipler Sklerose ist das Gleichgewicht zwischen den beiden Proteasom-Typen zugunsten des Immunoproteasoms verschoben. Blockiert man das Immunoproteasom, kann das korrekte Gleichgewicht wieder hergestellt und die Krankheit behandelt werden. Ein bereits bekanntes Molekül, das eine solche Blockierung bewerkstelligen kann, ist der Wirkstoff



Bindung eines Hemmstoffs des Immunoproteasoms in die Bindungstasche der Immunoproteasom-Untereinheit LMP7.



PR-957 (ONX 0914). «PR-957 ist ein vielversprechender Proteasom-Inhibitor, der spezifisch das Immuno- und nicht das konstitutive Proteasom hemmt», erklärt Huber. «Warum das Molekül das tut, war jedoch völlig unbekannt. Das Ziel meiner Doktorarbeit war, die Ursache für diese Selektivität mithilfe der Röntgenstrukturanalyse am PSI zu bestimmen.»

Das PSI stellt Gastforschern an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS drei Messplätze für die Röntgenstrukturanalyse von Biomolekülen zur Verfügung. Dabei werden die Moleküle in einer regelmässigen Kristallstruktur angeordnet und mit Synchrotronlicht durchleuchtet. Aus der Beugung des Lichts lässt sich dann der Aufbau der Moleküle bestimmen. Für eine solche Strukturanalyse sind jedoch grosse Mengen Immunoproteasom in hoher Reinheit nötig. Groll kontaktierte deshalb Marcus Groettrup, Inhaber des Lehrstuhls für Immunologie der Universität Konstanz und Leiter des Biotechnologie Instituts Thurgau (BITg) in Kreuzlingen. Die Konstanzer und Thurgauer Forscher hatten bereits Erfahrung gesammelt mit der Gewinnung des Immunoproteasoms aus Mäusen. «Wir waren daher zum Versuch bereit, geeignete Prä-

parate in ausreichender Menge und Reinheit für die Kristallisation zur Verfügung zu stellen», erläutert Michael Basler, Immunologe am BITg.

### Ein Baustein macht den Unterschied

Der Versuch glückte: Basler schickte die gereinigten Proben nach München, und Huber machte sich daran, geordnete Kristalle zu erhalten, die für eine Röntgenstrukturanalyse geeignet sind. Nach neunmonatigem Experimentieren und fünf intensiven Messaufenthalten an der SLS schafften es Huber und Groll schliesslich, den exakten Aufbau sowohl des Immunoproteasoms als auch des konstitutiven Proteasoms der Maus zu beschreiben.

Mehr noch: Beide Strukturen bestimmten die Wissenschaftler jeweils mit und ohne gebundenen Hemmstoff PR-957. «Wir konnten nun zum ersten Mal auf atomarer Ebene zeigen, wie der Wirkstoff an beiden Proteasom-Typen angreift und so erklären, warum er nur das Immunoproteasom blockiert», resümiert Groll. Im Mittelpunkt steht ein einziger Proteinbaustein, die Aminosäure Methionin. Sie bestimmt massgeblich die Form der Bindetaschen in beiden Proteasom-Varianten und be-

einflusst somit deren Schnittpräferenz. Kleine Unterschiede in der Umgebung des Methionins sorgen dafür, dass diese Aminosäure im Immunoproteasom anders gedreht ist als bei seinem Pendant. «Dieser geringe Unterschied macht sehr viel aus», erklärt Huber. «Er vergrössert die Tasche am Immunoproteasom, sodass der Hemmstoff selektiv binden kann. Beim konstitutiven Proteasom ist die Tasche kleiner, und PR-957 passt nicht hinein.»

Mithilfe dieser Erkenntnisse können Forscher nun neue Wirkstoffe gegen Autoimmunerkrankungen entwickeln. «Das ist ein grosser Fortschritt», freut sich Huber. «Doch ohne die Hilfe unserer Konstanzer Kollegen und die professionelle Unterstützung am PSI wäre das nicht möglich gewesen.»

Originalveröffentlichung:  
**Immuno- and constitutive proteasome crystal structures reveal differences in substrate and inhibitor specificity**  
 Eva M. Huber, Michael Basler, Ricarda Schwab, Wolfgang Heinemeyer, Christopher J. Kirk, Marcus Groettrup, Michael Groll  
 Cell, **148**, 727–738 (2012).

## Injektor-Design erfolgreich getestet

# Feuerprobe für den SwissFEL

Marco Pedrozzi ist sichtlich erfreut: «Die Richtung stimmt – wir sind auf gutem Weg», sagt der PSI-Physiker stellvertretend für seine Kollegen. Gemeinsam haben sie einen Meilenstein erreicht auf dem langen Weg zur neuen Grossforschungsanlage SwissFEL, an der das PSI seit fünf Jahren forscht: Ab 2016 soll der Schweizer Freielektronen-Laser völlig neue Einblicke in physikalische, chemische und biologische Vorgänge ermöglichen. Der Tessiner ist für den ersten Teil der Grossanlage verantwortlich, der zugleich ein kritisches Kernstück ist. Das PSI hat für diesen sogenannten Injektor neuartige Konzepte entwickelt, die helfen, den SwissFEL vergleichsweise kompakt und kostengünstig zu bauen. Unter Pedrozzi's Leitung werden diese Innovatio-

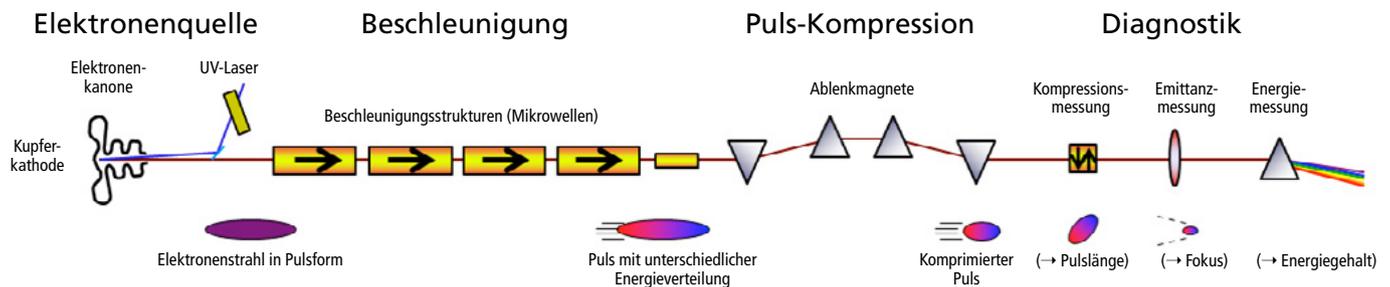
nen derzeit in einer Testanlage auf Herz und Nieren geprüft.

Der SwissFEL wird aus vier Teilen bestehen: Im Injektor werden kurze Pulse von Elektronen produziert, die im Linearbeschleuniger auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden. Ein Magnetundulator zwingt die Teilchen dann auf eine wellenförmige Bahn. Dabei strahlen sie Röntgenlichtblitze ab, die an den Messplätzen schnellste Prozesse wie etwa chemische Reaktionen sichtbar machen. «Der kostentreibende Faktor ist primär der Linearbeschleuniger. Wollen wir ihn kompakt bauen, müssen wir die Qualität des Strahls bereits bei seiner Entstehung im Injektor deutlich erhöhen», erklärt Pedrozzi, der nach seinem Studium an der

ETH Lausanne und einer Postdoc-Zeit in Boston vor rund 14 Jahren ans PSI kam.

### Injektor auf dem Prüfstand

Das zentrale Kriterium für die Güte eines Strahls ist seine geringe Emittanz. «Das bedeutet, dass der Strahl fein fokussiert sein muss und gleichzeitig nicht auseinanderlaufen darf», so Pedrozzi. Der Injektor ist jener Teil des SwissFEL, in dem der Elektronenstrahl im Vakuum produziert, beschleunigt, komprimiert und anschliessend charakterisiert wird. Hochfrequenzspezialisten, Strahldynamiker und Ingenieure haben alles bis ins letzte Detail kalkuliert, Maschine und Elektronenstrahl modelliert, Bauteile entwickelt und optimiert. «Das war ein schöner Erfolg, als wir den Strahl



Schema des SwissFEL-Injektors: Der Elektronenpuls wird stark beschleunigt, komprimiert und diagnostisch analysiert. Hochenergetische Elektronen sind rot dargestellt.

zum ersten Mal stabil erzeugen konnten», sagt Thomas Schietinger, Leiter der Sektion Beschleunigerkonzepte am PSI, «schliesslich arbeiten wir hart an der Grenze des technisch Machbaren». Gleiches gilt für die neuartigen Diagnostik-Komponenten, die jüngst in Betrieb genommen wurden. Diagnostik bezeichnet im Fachjargon sämtliche Messsysteme, mit denen man die Eigenschaften des Elektronenstrahls bestimmt.

Die Früchte all dieser Arbeiten sind in der Injektor-Testanlage vereint (siehe Grafik). Ihr Ziel: Ultrakurze Elektronenpulse mit einer bestimmten Emittanz zu erzeugen und zu vermessen. Schietinger erklärt: «Am Anfang steht die Elektronenquelle. Mit einem Laserblitz werden Elektronenröppchen aus einer Kupfer-Kathode in die Elektronenkanone gezogen und mithilfe von Mikrowellen auf eine hohe Geschwindigkeit gebracht». Es entsteht ein magnetisches Feld, das die Tendenz der Elektronen auseinanderzudriften unterbindet. «Nur wenn alle Komponenten perfekt harmonieren, bleibt die Emittanz tief», weiss der Basler Physiker, der die Inbetriebnahme der Injektor-Bestandteile leitet.

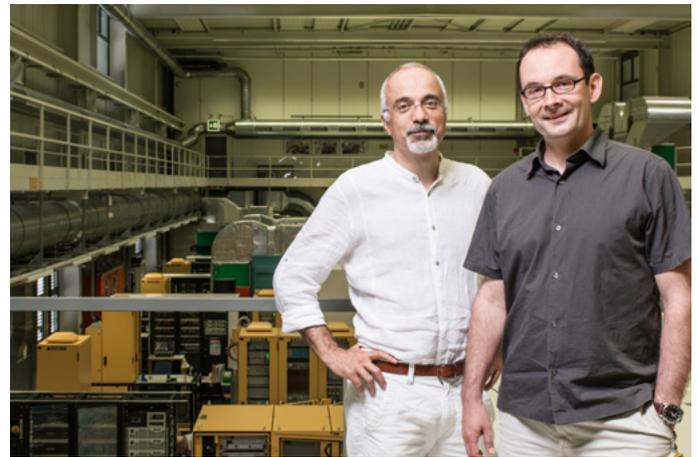
«Für den SwissFEL benötigen wir aber nicht nur eine hohe Strahlqualität, sondern auch sehr kurze Pulse mit einer hohen Elektronendichte. Deshalb müssen wir die Strahlpakete komprimieren», führt Schietinger weiter aus. In den Beschleunigungsstrukturen nach der Elektronenkanone wird darum ein raffinierter strahldynamischer Trick verwendet: Durch eine präzise zeitliche

Abstimmung der Mikrowelle mit dem Elektronenpuls werden die Teilchen weiter beschleunigt und zwar so, dass sie sich gezielt steuern lassen: Der Puls-Kompressor, eine Art magnetische Schikane, schiebt die Elektronen die hinten

im Puls sitzen, auf eine kürzere Bahn als die vorderen. So rücken die Teilchen dicht zusammen und der Puls verkürzt sich.

### Konzept validiert

Mithilfe der Diagnostik lässt sich nun etwa prüfen, ob die Elektronen die richtige Energie haben, indem man sie mit einem Magnet ablenkt und die Änderungen der Flugrichtung auf einem Bildschirm analysiert. «Wir sind nun auch in der Lage, mit ausgeklügelten Verfahren die Grösse des Strahls und den Grad seiner Auffächerung exakt zu messen», betont Schietinger und ergänzt, dass die Emittanz tatsächlich den Vorgaben entspricht. Eine der grössten Herausforderungen war jedoch die Messung der Kompression: Die verdichteten Elektronenpulse dauern derart kurz, dass klassische elektronische Messmethoden schlicht zu langsam sind. Die Diagnostik-Spezialisten haben das Problem nun op-



Marco Pedrozzi (links) und Thomas Schietinger in der Halle, in der der SwissFEL-Injektor getestet wird.

tisch gelöst: der Puls wird durch einen Beschleunigungs-Kick senkrecht aufgestellt und auf einen Schirm projiziert, auf dem sich die Pulslänge bestimmen lässt.

Auch diese Messungen verliefen sehr zufriedenstellend. «Das Injektor-Design ist vorerst validiert, doch fertig sind wir noch lange nicht», relativiert Pedrozzi den Etappenerfolg. In der Tat müssen noch weitere Komponenten getestet werden, bevor die endgültige Injektor-Konfiguration in Angriff genommen wird. Dennoch herrscht Zuversicht: «Das Schöne am PSI ist, dass wir in den Fachgruppen so viel Kompetenz haben, auf die wir uns verlassen können», so Schietinger.

Originalveröffentlichungen:  
**Progress Report on the SwissFEL Injector Test Facility**  
 T. Schietinger et al.  
 Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Particle Accelerator Conference (IPAC), New Orleans, USA, 2012.



# 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

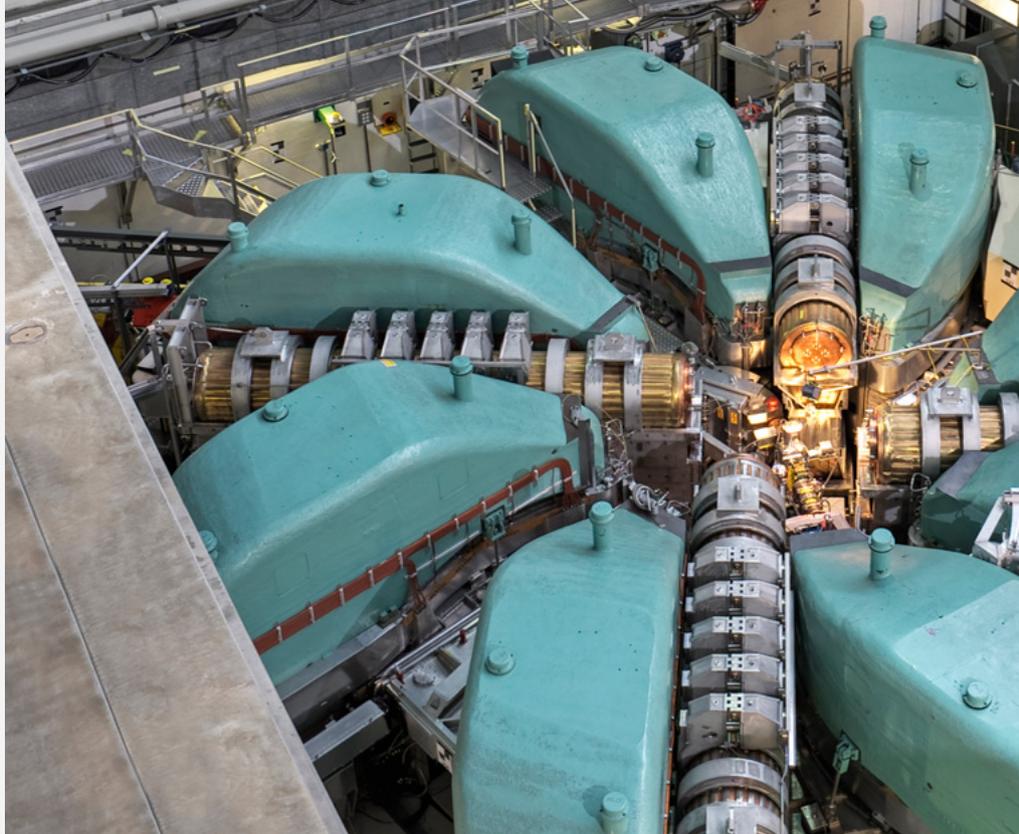
Materials trifft. Der Protonenstrahl wird in der Protonenbeschleunigeranlage des PSI erzeugt. Hier werden die Protonen auf fast 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

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

### SwissFEL – das Zukunftsprojekt

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



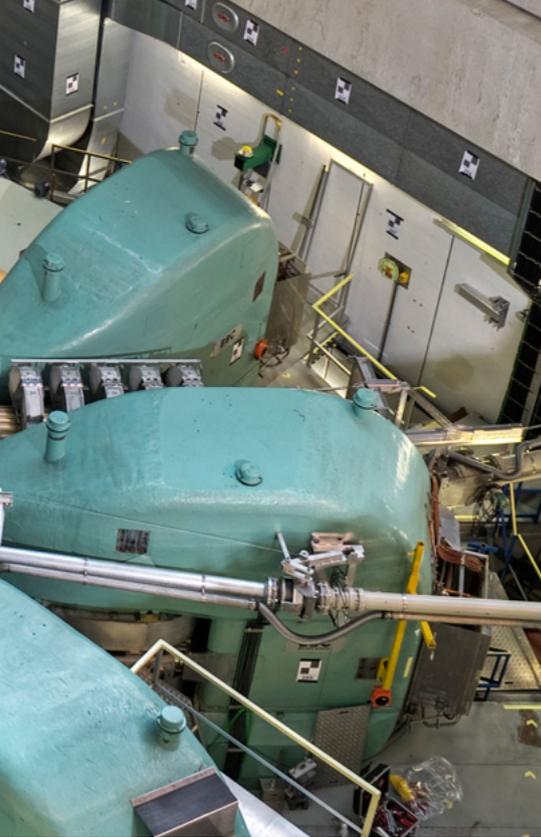
Blick auf den grossen Protonenbeschleuniger, der einen Umfang von rund 48 Metern hat.

## Das PSI ist ein Nutzerlabor

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

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

Damit dennoch möglichst viele Forschende Zugang zu Neutronen, Synchrotronlicht oder Myonen erhalten, betreibt das PSI zentral die entsprechenden Grossanlagen: die Neutronenquelle SINQ, die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS und die Myonenquelle  $\mu\text{S}$  – 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 internationalen Fachleuten besetzte Komitees prüfen diese Messzeitanträge auf ihre wissenschaftliche Qualität und empfehlen dem PSI, welche Anträge tatsächlich Messzeit bekommen sollen. Denn obwohl es rund 40 Messplätze gibt, reicht die Zeit nie für alle eingegangenen Bewerbungen. Rund ein Drittel bis die Hälfte der Anträge muss abgelehnt werden. Manche Messplätze sind in der Forschergemeinde sogar so begehrt, dass dort sechsmal so viel Messzeit beantragt wird, als verfügbar ist. Angezogen werden die externen Forscher und Forscherinnen dabei nicht nur von den Experimentiermöglichkeiten, sondern auch von der guten Betreuung durch die PSI-Forschenden. Diese sind selbst erfahrene Wissenschaftler und unterstützen die Nutzer dabei, an den Anlagen die optimalen Ergebnisse zu erzielen.

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

## Nutzerdienst in Zahlen

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

So erscheinen jedes Jahr rund 500 Fachartikel, die auf Experimenten an den Grossanlagen des PSI basieren. Und jährlich verzeichnet das PSI etwa 4000 Besuche von Wissenschaftlern aus der ganzen Welt, die an den Grossanlagen ihre Experimente durchführen. Die meisten Nutzer von Neutronen und Synchrotronlicht kommen aus der Schweiz und den Ländern der EU. Die Schweizer Experimentatoren teilen sich wiederum etwa gleichmässig auf das PSI und andere Einrichtungen auf, wobei die meisten externen Forscher von der ETH Zürich kommen. Vertreten sind aber auch die ETH Lausanne, die 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 Messzeit ist am PSI für alle akademischen Forschenden kostenlos – genauso wie Schweizer Wissenschaftler auch kostenlos an den Einrichtungen in anderen Ländern forschen können. Nutzer aus der

# Die Forschungsschwerpunkte des PSI

Das Paul Scherrer Institut PSI ist das grösste naturwissenschaftliche Forschungszentrum der Schweiz. Mehr als 450 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. 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 2011

Die Ausgaben des PSI beliefen sich 2011 auf 364,8 Mio. Franken:

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

Ausgaben	Betrag	%
Betrieb	302,4	82,9
Investitionen	62,4	17,1
<b>Gesamt*</b>	<b>364,8</b>	<b>100,0</b>

### Mittelaufteilung

Finanzierungsbeitrag Bund		
– Grundfinanzierung	248,8	68,2
– SwissFEL	27,0	7,4
Drittmittelausgaben	89,0	24,4

### Drittmittleinnahmen

Privatwirtschaft	39,0	41,2
Forschungsförderung Bund	26,2	27,6
EU-Programme	7,0	7,4
Andere Einnahmen	22,6	23,8
<b>Gesamt</b>	<b>94,8</b>	<b>100,0</b>

\* inklusive Personalausgaben von 215,6 Mio. Franken (59,1% der Gesamtausgaben); ohne aktivierte Eigenleistungen.

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

Festkörperforschung und Materialwissenschaften	42 %
Allgemeine Energie	18 %
Lebenswissenschaften	17 %

Nukleare Energie und Sicherheit	14 %
Teilchenphysik	9 %

## Personal

Die Mitarbeiterzahl am PSI entsprach Ende 2011 rund 1500 Vollzeitstellenäquivalenten. 34,6 Prozent der Stellen sind wissenschaftliches Personal. Hinzu kommen rund 300 Doktorierende, die in der Gesamtmitarbeiterzahl noch nicht berücksichtigt sind. 52,1 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. 6,6 Prozent der Stellen sind der Administration zugeordnet. 24 Prozent der Mitarbeitenden sind Frauen, 44 Prozent sind ausländische Staatsbürger.

## Organisation

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

## Beratende Organe

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

# Impressum

Fenster zur Forschung  
Ausgabe 03/2012  
Paul Scherrer Institut, September 2012  
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 (Ltg.),  
Dagmar Baroke, Michael Keller,  
Dr. Paul Piwnicki

Gestaltung und Layout: Irma Herzog

Bildbearbeitung: Markus Fischer

Lektorat: Evelyne Gisler

Originalveröffentlichung zum Beitrag  
auf Seite 7 rechts:  
**Visualisierung der Russ- und Asche-  
verteilung in Dieselpartikelfiltern  
mittels Neutronen Imaging**  
C. Grünzweig, D. Mannes, A. Kaestner,  
M. Vogt  
MTZ – Motortechnische Zeitschrift 73  
(2012), Nr. 4, S. 326–331

Originalveröffentlichung zum Beitrag  
auf Seite 7 rechts:  
**Femtosecond Dynamics of the  
Collinear-to-Spiral Antiferromagnetic  
Phase Transition in CuO**  
S. L. Johnson, R. A. de Souza, U. Staub et al.  
Phys. Rev. Lett. 108, 037203 (2012)

Bildlegenden für ganzseitige Fotos:

Seite 3: Kristallstruktur des  
Immunoproteasoms der Maus  
*Aus: Immuno- and constitutive prote-  
asome crystal structures reveal differen-  
ces in substrate and inhibitor specificity*  
Eva M. Huber et al.  
Cell, 17. Februar 2012

Seite 16: Eva M. Huber installiert ihre Pro-  
be an der PXI-Strahllinie der SLS am PSI.

Seite 20: Luftaufnahme des  
Paul Scherrer Instituts.

Fotoaufnahmen:  
Alle Fotos Scanderberg Sauer  
Photography, ausser:  
Seite 6 links Frank Reiser,  
Seiten 7, 16, 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. Fritz Gassmann  
Telefon +41 56 310 26 47  
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.