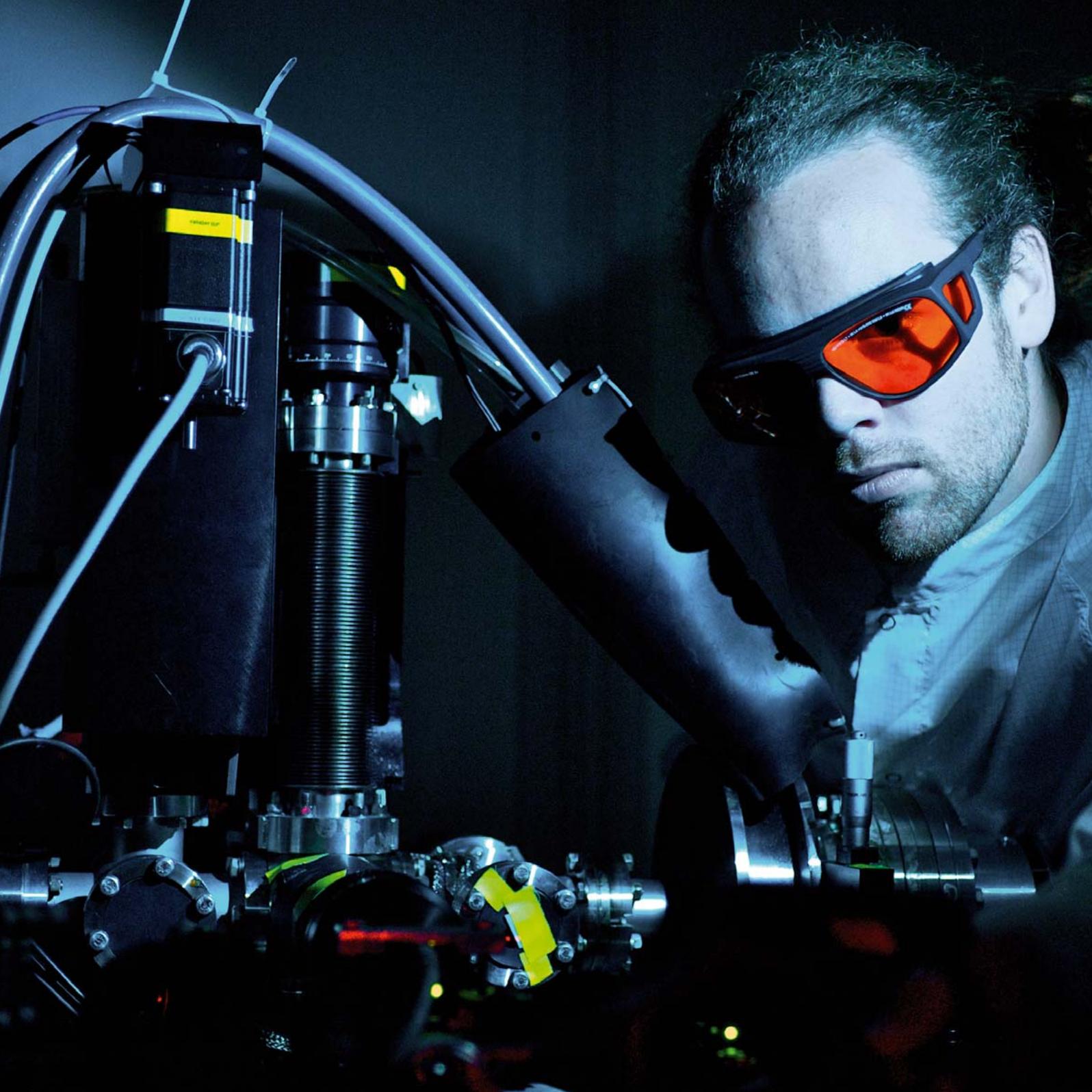


Fenster zur Forschung





Inhalt

Seite 5	Spitzenforschung für die Schweizer Industrie
Seite 6 / 7	In Kürze: Tumorthherapie Supraleiter Proton Besucherführungen
Seite 8 / 9	Experimente für den SwissFEL
Seite 10 / 11	Protonenpumpen im Röntgenstrahl
Seite 12–14	Forschen für bessere Batterien
Seite 15–17	Herstellung eines Krebsmedikaments
Seite 18 / 19	Neue Karriere für Biomolekül
Seite 20 / 21	Die Grossforschungsanlagen des PSI
Seite 22 / 23	Das PSI ist ein Nutzerlabor
Seite 24 / 25	Die Forschungsschwerpunkte des PSI
Seite 26	Das PSI im Überblick
Seite 27	Impressum

Sehr geehrte Leserin
Sehr geehrter Leser

Was haben Autoteile, Batterien, Beton, Brennstoffzellen, Computerprozessoren, Halbleiter, Joghurt, Kettensägen, Luxusuhren, Medikamente, Satelliten, Schokolade und Seife gemeinsam? Sie alle und noch vieles mehr wurde von der Industrie am Paul Scherrer Institut untersucht. Den Blick in den Verbrennungsmotor oder in das Biomolekül machen die wissenschaftlichen Grossanlagen des PSI möglich: die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS, die Neutronenspallationsquelle SINQ und die Schweizer Myonenquelle SpS. Sie alle stehen auch Industriepartnern für Untersuchungen zur Verfügung, die in der Schweiz nirgendwo sonst möglich sind.

Nicht nur die Messmöglichkeiten sind es, von denen die Industrie am PSI profitieren kann. Oft benötigen PSI-Forschende für ihre Experimente Technologien, die nicht auf dem Markt verfügbar sind. Sie müssen diese erst selbst entwickeln und stellen sie dann der Industrie für weitere Anwendungen zur Verfügung. Zwei besonders bemerkenswerte Beispiele stammen aus der Elementarteilchenphysik: Für Teilchenexperimente am PSI wurde ein Oszilloskop von der Grösse eines Daumennagels entwickelt, das die Funktionen eines üblichen, schuhschachtelgrossen Geräts übernehmen kann.

Für ein Experiment am CERN haben PSI-Forschende einen neuartigen Detektor zum Nachweis von Elementarteilchen entwi-

Spitzenforschung für die Schweizer Industrie



ckelt. Eine Weiterentwicklung dieses Geräts wird vom PSI-Spin-off Dectris mittlerweile in der ganzen Welt vertrieben. Dafür erhielt das Unternehmen im Juni dieses Jahres den Swiss Economic Award. Der Detektor wird gleichzeitig für bildgebende Verfahren im medizinischen Bereich weiterentwickelt. Es gibt zahlreiche andere Beispiele für am PSI entstandene Technologien, die nun von der Industrie genutzt werden, etwa Speisegeräte für hoch dynamische Magnete, hoch präzise Schrittmotorensteuerungen oder Hochspannungsspeisegeräte.

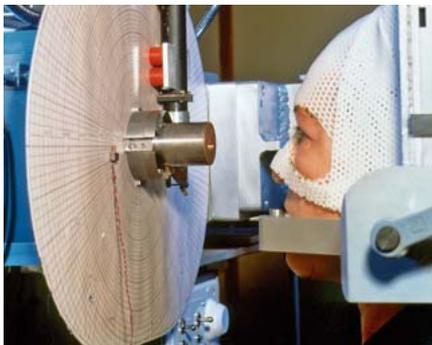
Die nächste Grossanlage des PSI soll der Röntgenlaser SwissFEL sein. Dabei ist es uns ein grosses Anliegen, die Industrie möglichst früh in die Konzeption und den

Bau der Anlage einzubinden. Wir wollen eine Anlage liefern, die genau an die Bedürfnisse der Schweizer Wissenschaft und Industrie angepasst ist. Zudem stehen wir vor grossen technologischen Herausforderungen, die wir zusammen mit den Industriepartnern lösen werden. Dadurch soll sich wiederum ein Know-how-Transfer in die Industrie ergeben, der es den Unternehmen ermöglichen wird, neues Wissen für innovative Produkte zu nutzen.

Professor Dr. Joël Mesot
Direktor Paul Scherrer Institut

Tumortherapie

Seit 25 Jahren werden am PSI Patientinnen und Patienten behandelt, die an einem Aderhautmelanom erkrankt sind. Dies geschieht in enger Zusammenarbeit mit dem Hôpital Ophtalmique der Universität Lausanne. Bisher wurden über 5000 erkrankte Personen behandelt. In mehr als 98 Prozent der Fälle wurde das Tumorwachstum definitiv gestoppt oder der Tumor zum Verschwinden gebracht. In über 90 Prozent der Fälle konnte das tumorkranke Auge gerettet werden. Im Herbst haben die Physiker und Ärzte des PSI diesen Erfolg mit einem Festsymposium gefeiert. In Anwesenheit von geladenen Gästen aus Forschung, Medizin und Politik wurde dabei auch die Behandlungsanlage OPTIS 2 eingeweiht. Diese Bestrahlungseinrichtung befindet sich technisch auf dem weltweit allerneusten Stand und überzeugt durch ihre Installation in einem Raum, der den Patienten durch wohlüberlegten Einsatz



Behandlung eines Patienten an der Bestrahlungseinrichtung OPTIS.

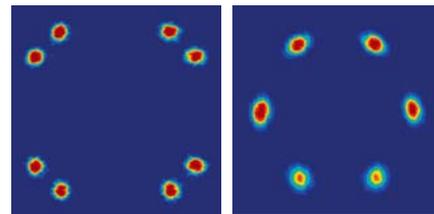
von Licht, Farbe und Materialien eine angenehme und stressfreie Umgebung bietet.

OPTIS (kurz für ophtalmologische Protonentherapie-Installation) ist eine Pionieranlage in Europa für die Therapie von Augentumoren mit Protonenstrahlen. Inzwischen sind nach dem PSI-Vorbild sechs weitere derartige Einrichtungen in Europa in Betrieb. Das PSI behandelt weiterhin pro Jahr mehr Augentumorpatienten als jede andere Institution weltweit.

Supraleiter

«Wenn man eine behaarte Kugel kämmt, gibt es immer mindestens einen Wirbel» – so eine Zusammenfassung der mathematischen Aussage, die als «Satz vom Igel» bekannt ist. Obwohl ein Igel eigentlich Stacheln hat und man ihn nicht wirklich kämmen kann.

Mark Laver vom PSI und Edward M. Forgan von der Universität Birmingham haben kürzlich in einem Artikel in der Online-Fachzeitschrift *Nature Communications* gezeigt, dass der Satz für das Verhalten von Supraleitern Folgen hat. Supraleiter sind vor allem dafür bekannt, dass sie elektrischen Strom ohne Widerstand leiten. Ausserdem vertragen sie in ihrem Inneren kein Magnetfeld. Supraleiter 2. Art, zu denen die Hochtemperatursupraleiter gehören, können sich gegen starke äussere Magnetfelder wehren, indem sie «Flussschläuche» bilden – dünne Kanäle, durch die das Ma-



Neutronenstreuendiagramme, die die Anordnung von Flussschläuchen für zwei verschiedene Ausrichtungen des Supraleiters wider spiegeln.

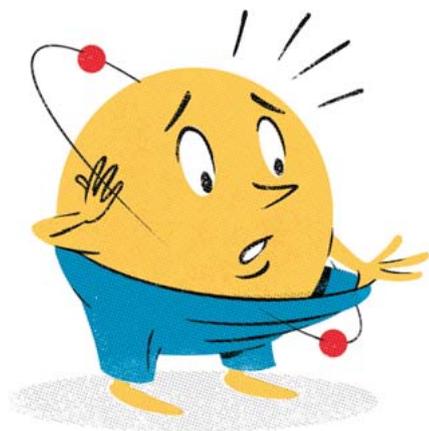
gnetfeld geleitet wird, während der Rest des Supraleiters feldfrei bleibt. Diese Flussschläuche ordnen sich meist in regelmässigen Mustern. Nun haben die beiden Forscher mithilfe des «Satzes vom Igel» gezeigt, dass das Muster nicht immer gleich bleiben kann, wenn man den Supraleiter im Magnetfeld dreht. Die Änderung an sich hatten sie zuvor in Experimenten mit Neutronen – zum Teil am PSI – beobachtet. Diese kann übrigens verschieden aussehen: Das Muster kann sich etwa sprunghaft ändern oder die Flussschläuche ordnen sich in einer unregelmässigen Struktur an.

Von Supraleitern erhofft man sich zahlreiche technische Anwendungen, die aber voraussetzen, dass man die Supraleitung besser versteht. Diese Ergebnisse könnten dazu einen wichtigen Beitrag darstellen.

Proton

«Eigentlich wollten wir nur den bekannten Wert für den Protonenradius genauer messen», sagt Franz Kottmann, Teilchenphysi-

ker am PSI. Doch das Experiment, an dem er mit Kollegen von sieben weiteren Institutionen gearbeitet hat, erbrachte Unerwartetes: Das Proton ist 4 Prozent kleiner als bisher gedacht – 0,84184 fm (Femtometer = 0,00 000 000 000 000 1 Meter) statt 0,8768 fm. Das Ergebnis, das im Fachmagazin Nature veröffentlicht wurde, ist für Physiker eine Sensation, die erfordern könnte, sicher geglaubte Erkenntnisse der Physik zu überdenken.



Der Radius des Protons ist 4 Prozent kleiner als gedacht und damit auch sein Umfang. Die Verwirrung der Wissenschaftswelt über das schlankere Proton drückte die New York Times mit diesem Cartoon aus.

Zeichnung: Chris Gash

Für das Experiment wurden Wasserstoffatome benutzt, in denen üblicherweise je ein einzelnes Elektron um ein Proton kreist. Das Elektron wurde von den Physikern durch ein Myon ersetzt. Es ist dem Elektron weitgehend gleich, aber rund 200-mal schwerer. Wegen der höheren Masse ist seine Bahn um das Proton nach den Ge-

setzen der Quantenphysik deutlich enger als die des Elektrons. So «spürt» das Myon das Proton viel stärker. Aus den Eigenschaften der Myonenbahnen kann man genau bestimmen, wie gross das Proton ist. Die Myonen für das Experiment stammten aus der Beschleunigeranlage des PSI – weltweit werden nur hier genug Myonen für ein solches Experiment erzeugt.

«Wo die Diskrepanz bei der Bestimmung des Protonenradius herkommt, ist noch unklar», erklärt Aldo Antognini, der zweite beteiligte PSI-Forscher. «Unser nächstes Experiment, bei dem wir Helium statt Wasserstoff nutzen werden, dürfte dazu entscheidende Hinweise liefern.»

Besucherführungen

Die Forschungsanlagen des PSI faszinieren. 13 000 Besucherinnen und Besucher liessen sich im letzten Jahr von Fachleuten des PSI über das Gelände führen und erhielten so einen authentischen Einblick in die Forschungswelt. Einziger Wermutstropfen: Bisher konnten diese Führungen nur für Gruppen ab zwölf Personen angeboten werden. Einzelpersonen hatten die Möglichkeit, das Besucherzentrum psi forum zu besuchen, das auf unterhaltsame Art die wichtigsten Forschungsthemen des PSI veranschaulicht. Ein Blick in die Forschungsanlagen blieb ihnen jedoch verwehrt.



Auch PSI-Vizedirektor Martin Jermann engagiert sich als Besucherführer. Hier mit einer Gruppe in der SLS.

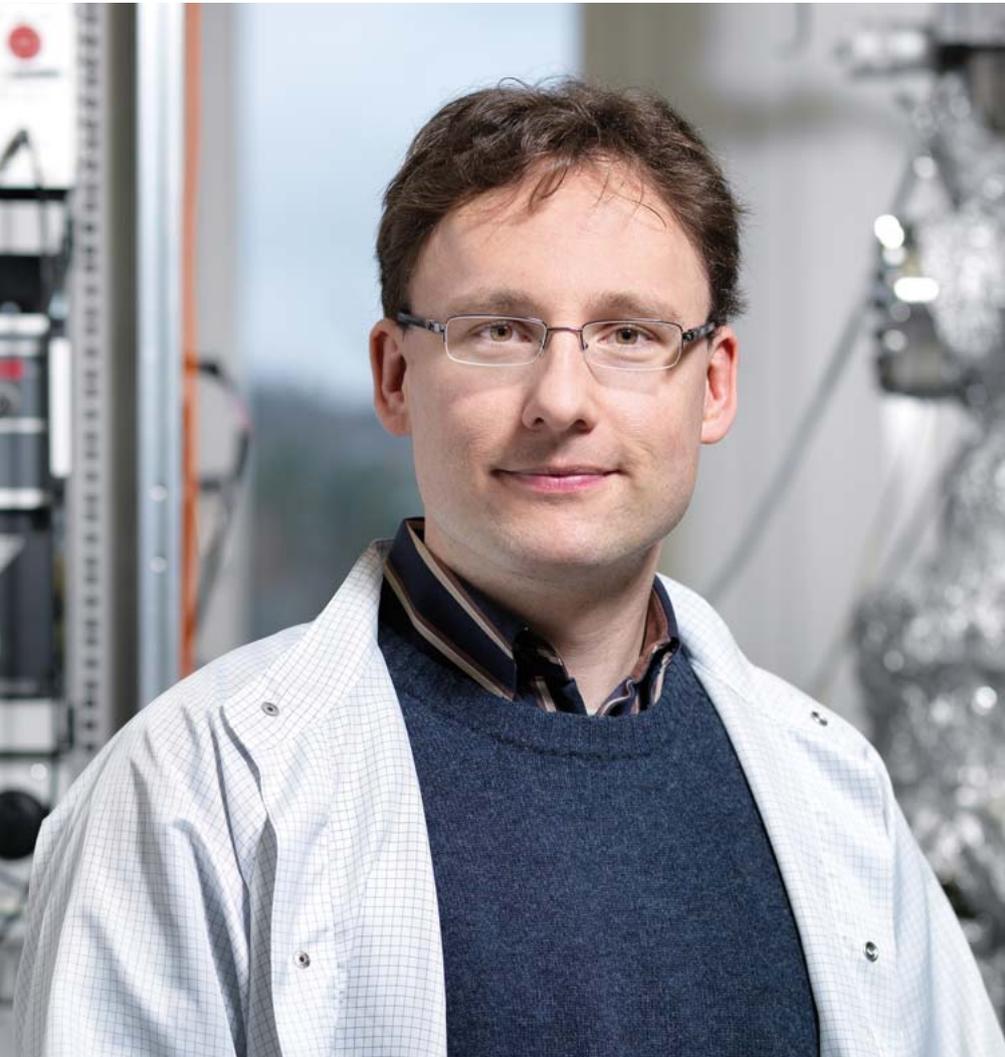
Sandra Ruchti, Leiterin des Besucherdienstes, erklärt das neue Angebot: «Die Anfragen von Einzelpersonen nahmen ständig zu. Ab sofort können auch sie die reale Forschungsumgebung erleben.» Die «Gruppenführung für Individualisten» wird jeden ersten des Monats angeboten, sofern er nicht auf ein Wochenende oder einen Feiertag fällt. Die Themen reichen von der Protonentherapie über die Grossforschungsanlagen wie SLS und SINQ bis hin zu Solarchemie, Biomasse oder Brennstoffzellen.

Die Führungen beginnen um 17 Uhr und dauern zweieinhalb Stunden. Sie werden von einer Fachperson begleitet, die im entsprechenden Thema forscht oder arbeitet. Einem Einstiegsreferat im psi forum schliesst sich ein Rundgang in die entsprechenden Labors und Forschungsanlagen an.

Weitere Informationen zu Führungsthemen und Anmeldung unter www.psi-forum.ch.

Porträt Mathias Kläui

Experimente für den SwissFEL



«Ich mag es, auch an Dingen zu forschen, die in absehbarer Zeit anwendbar sein werden und nicht nur dem reinen Erkenntnisgewinn dienen», erklärt Mathias Kläui. Er ist Professor für Experimentalphysik mit Schwerpunkt Nanomagnetismus an der ETH Lausanne und Leiter einer Forschungsgruppe beim SwissFEL-Projekt des PSI. Am liebsten bewegt sich der gebürtige Zürcher an der Schnittstelle zwischen angewandter Forschung und Grundlagenforschung. Kläui ist Spezialist für Spin-Dynamik. Er untersucht die Wechselwirkung zwischen Strom und Magnetisierung und möchte Fragen beantworten wie beispielsweise «Wie schnell kann man auf einer Festplatte Daten abrufen oder speichern?». Dazu muss er beobachten, was die Magnetisierung in winzigen Bereichen in Bruchteilen von Sekunden macht – wie sich etwa ein Bit von 0 auf 1 umschalten lässt. Sein Thema ist spannend – nicht umsonst wurde der Nobelpreis Physik im Jahr 2007 im Bereich Nanomagnetismus verliehen. Kläui: «Ganz neue Anwendungen entstehen hier. Es ist sehr reizvoll, dabei zu sein.»

Mathias Kläui im Labor zur Herstellung von Dünnschichtproben zur Messung von Spin-Dynamik.

Im Jahr 2008 wurde Kläui ein «ERC Starting Grant» des Europäischen Forschungsrates ERC zuerkannt, das höchst dotierte Förderinstrument der Europäischen Union für Nachwuchsforscher. Damit stehen ihm während fünf Jahren die Mittel für Mitarbeitende und Material zur Verfügung, die er nutzen kann, um seine Forschung voranzubringen. Und das an einem Institut seiner Wahl in Europa. Er entschied sich fürs PSI, weil er ein stimulierendes Umfeld suchte, in dem möglichst viele Leute auf seinem Gebiet forschen. Kläui: «Ich brauche den Austausch. Dass der am PSI funktioniert, weiss ich, weil ich die SLS schon lange nutze. Es gibt bestimmt 50 wissenschaftliche Artikel, die schon vor meiner PSI-Zeit zusammen mit PSI-Forschern entstanden sind.» Und irgendwie zog es ihn nach Jahren in Deutschland, Grossbritannien und Japan wieder zurück in die Schweiz.

Jetzt arbeitet er auch daran, Experimentierstationen für sein Fachgebiet an «Freielektronen Röntgenlaserquellen» wie dem SwissFEL zu konzipieren. «Da tun sich spannende neue Forschungsgebiete auf, die nur an einer solchen Röntgenquelle erforscht werden können.» Er ist überzeugt, dass die Schweiz in der internationalen wissenschaftlichen Landschaft gut sichtbar ist, weil sie unter anderem der Forschergemeinde mit der SLS ein Weltklassegerät zur Verfügung stellt. Kläui: «Nun gilt es, mit dem SwissFEL noch einen Schritt weiterzu-

gehen. Solche Röntgenquellen sind die Zukunft der Forschung mit Photonen.»

Mathias Kläui jongliert mit einer enormen Menge an Projekten und schafft es, immer alle Bälle in der Luft zu halten. Er engagiert sich in interdisziplinären Projekten an der Global Young Academy, die sich um den Dialog zwischen Nachwuchswissenschaftlern aus Entwicklungs- und Industrieländern kümmert und der Jungen Akademie, die disziplinenübergreifende Projekte im deutschsprachigen Raum fördert. Zudem leitete er eine Arbeitsgruppe

in einem Thinktank im Bereich Energie. Den Kontakt mit seiner 20-köpfigen Forschergruppe, die zwischen Konstanz, Lausanne und PSI verteilt ist, hält er wenn nötig auch mal per Videokonferenz vom Flughafen oder Konferenzhotel aus. Sein Hobby, der Amateurfunk, liegt hingegen seit Jahren brach. «Fürs Funken baue ich die Geräte selber. Dann steige ich mit Freunden auf einen Berg und wir überbrücken möglichst grosse Distanzen.» Derzeit muss er diese aber eher im Flugzeugsessel oder per Liveschaltung überbrücken.

Ultra-Hochvakuumanlage zur Deposition von hoch reinen Materialien.



Geheimnis der Energiegewinnung in Zellen gelüftet

Protonenpumpen im Röntgenstrahl

Es ist ein elementarer Vorgang des Lebens: Unsere Zellen gewinnen Energie, indem sie Nahrung verbrennen. Dabei wird Sauerstoff verbraucht. Deshalb atmen wir. In der Körperzelle läuft diese Verbrennung gestaffelt in mehreren Teilreaktionen ab. Die Akteure, die diese Schritte vollziehen, sind molekulare Maschinen aus Proteinen, sogenannte Proteinkomplexe – raffinierte nanomechanische Konstrukte, die aus mehreren Untereinheiten aufgebaut sind. Das

Verständnis der Mechanismen, mit denen die Zelle Energie gewinnt, wies bis vor Kurzem eine wesentliche Lücke auf: Man wusste, dass ein Proteinkomplex Protonen durch eine Trennschicht, genannt Membran, transportiert. Doch wie das Biomolekül dies bewerkstelligt, war eine letzte noch offene Frage.

Die Antwort haben jüngst zwei konkurrierende Forschergruppen aus England und Deutschland geliefert. Beide kamen

wiederholt ans PSI, um an den Strahllinien der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS die Architektur des zuständigen Moleküls zu klären. Die SLS stellt Gastforschern drei Messplätze für Strukturanalysen von Biomolekülen zur Verfügung und zählt weltweit zu den besten Einrichtungen dieser Art. Unabhängig voneinander entdeckten die beiden Wissenschaftlergruppen den Mechanismus, mit dem die Zelle Energie aus der Nahrung nutzbar macht. Die Resultate wurden im Sommer 2010 in den Fachzeitschriften Nature und Science publiziert, wo sie als bahnbrechende Erkenntnis bezeichnet wurden.

Zehn Jahre Arbeit für «Komplex I»

Objekt der Forschung beider Teams ist die sogenannte Atmungskette. Sie besteht aus fünf aneinandergereihten Proteinkomplexen, deren Zweck die Energiegewinnung ist. Bei höheren Organismen findet die Atmungskette in den Mitochondrien statt, den eigentlichen Kraftwerken der Zelle. In

Die Physikerin Anuschka Pauluhn richtet die Strahllinie X06SA für röntgenkristallografische Messungen an Biomolekülen ein.



ihnen verbinden sich Elektronen von Wasserstoffatomen aus der Nahrung mit Sauerstoff zu Wasser. Der Prozess liefert Energie, mit der die Substanz Adenosintriphosphat (ATP) gebildet wird. ATP dient der Zelle als universeller Energiespeicher. Dass die fünf Proteinkomplexe zusammenwirken, um den Zelltreibstoff ATP zu bilden, ist seit Längerem bekannt: Es ist ein ausgeklügelter Prozess, der wie ein winziges Pumpspeicherkraftwerk funktioniert (s. Kasten). Unklar war jedoch, wie das erste Glied der Kette, der «Komplex I», genau dazu beiträgt.

Nach zehnjähriger Arbeit und etlichen Experimenten an der SLS ist es der deutschen Forschergruppe um Carola Hunte von der Universität Freiburg nun gelungen, die Struktur dieses Bauteils der mitochondrialen Atmungskette in einer Hefezelle zu bestimmen. Gleichzeitig hat das Team des britischen Forschers Leonid Sazanov vom

Die Atmungskette: Pumpspeicherkraftwerk im Nanoformat

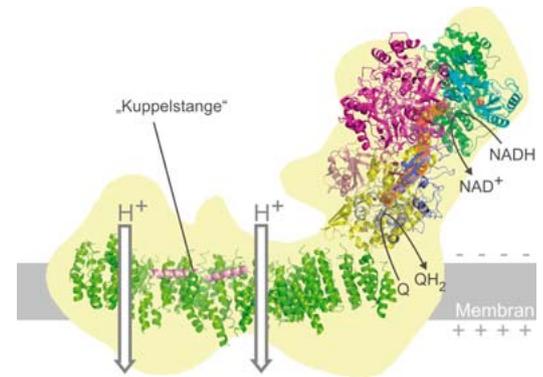
Die fünf Komplexe der Atmungskette wandeln Nahrungsenergie schrittweise um, indem Protonen in ein Reservoir transportiert werden, das an anderer Stelle entleert wird. Die treibende Kraft dahinter sind Elektronen aus der Nahrung. Die Komplexe I bis IV pumpen – getrieben durch die Elektronen – Protonen durch eine Membran in das Reservoir. Dabei wird aufgrund der positiven Ladung der Protonen ein elektrisches Potenzial erzeugt. Die Protonen strömen durch Komplex V zurück, der die frei werdende Energie wie eine Turbine zur Synthese des Zelltreibstoffs ATP verwendet.

Medical Research Council in Cambridge an der SLS und der European Synchrotron Radiation Facility ESRF in Grenoble die Architektur von Komplex I in einer Bakterienzelle aufgeklärt. Die Briten schafften es gar auf den Titelumschlag von *Nature*, was als ganz besondere Auszeichnung gilt.

Solche Erfolge sind nicht selbstverständlich. Das weiss Anuschka Pauluhn, Strahllinienbetreuerin am PSI, nur zu gut: «Die Hingabe der Forscher ist enorm. Wir haben Betten an der Beamline, sogar kleine Küchen. Doch oft wird nächtelang gemessen und darüber Schlaf oder Essen beinahe vergessen». Für ihre Experimente nutzten beide Teams das Verfahren der Röntgenstrukturanalyse, bei dem ein stark gebündelter Röntgenstrahl auf kristallisierte Biomoleküle gerichtet wird. Aus der Beugung des Lichts am Kristallgitter lässt sich dann die Struktur der Proben bestimmen. «Die Resultate beider Gruppen ergänzen sich und bestätigen, dass Komplex I in beiden Zelltypen nach dem gleichen Prinzip funktioniert», resümiert Pauluhn.

Kuppelstange treibt Protonenpumpe

Die Forscher zeigten, dass Komplex I über Kanäle verfügt, die mit einem lang gezogenen Molekül verbunden sind. Es bildet eine Art Kuppelstange, die die Kanäle an weitere Untereinheiten des Komplexes koppelt. Diese nehmen Elektronen auf, die bei der Verbrennung der Nahrung frei werden. Fließen diese, wechselt der Kom-



Komplex I der Atmungskette pumpt Protonen mithilfe spezieller Kanäle. Die Kuppelstange besorgt den Energie-transfer innerhalb des Komplexes, indem sie den rechten Teil des Moleküls mechanisch an die Kanäle koppelt. (Quelle: idw/Grafik: Hunte, Zickermann, Brandt)

plex seine räumliche Struktur. Die Kuppelstange bewegt sich und veranlasst die Kanäle dazu, Protonen durch die Membran zu pumpen.

Das Verständnis solcher Vorgänge ist für die Medizin von Bedeutung. Fehlfunktionen in der Atmungskette werden mit Krankheiten wie Alzheimer oder Parkinson in Verbindung gebracht. Deshalb wollen die Forscher Komplex I noch genauer analysieren. «Unser Ziel ist ein 3-D-Modell auf atomarer Ebene», sagt Hunte. Dass sie erneut ans PSI kommt, um Daten zu gewinnen, ist nicht unwahrscheinlich. Denn die SLS wird von beiden Gruppen für die hohe Qualität des Röntgenstrahls und die modernsten Detektoren gelobt.

Originalveröffentlichungen:

The architecture of respiratory complex I
Rouslan G. Efremov, Rozbeh Baradaran & Leonid A. Sazanov
Nature **465**, 441–445 (2010)

Functional Modules and Structural Basis of Conformational Coupling in Mitochondrial Complex I

Carola Hunte, Volker Zickermann, Ulrich Brandt
Science **329**, 448–451 (2010)



Interview mit Petr Novák

Forschen für bessere Batterien

Professor Novák, Sie sind Leiter der Sektion Elektrochemische Speicher am PSI, die sich der Batterieforschung widmet. Die öffentliche Energiediskussion dreht sich um Energiequellen – Kernenergie, Öl, erneuerbare Energie. Von Batterien spricht kaum jemand.

Es ist klar, dass in Zukunft der Anteil an Energie aus Sonnen- und Windanlagen steigen wird. Diese Energie fällt unregelmäßig an. Man muss sie deshalb speichern, bevor sie genutzt wird. Batterien sind da eine mögliche Technologie. Und natürlich sind Batterien für mobile Lösungen wichtig – Laptops, Handys, Elektroautos.

Was kann man denn an Batterien noch verbessern?

Ein Thema ist die Energiedichte, also die Energiemenge, die man in einem Kilogramm Batterie speichern kann. Zum Beispiel für Elektroautos, weil man umso weiter fahren kann, je mehr Energie sich in einer Batterie speichern lässt. Aber auch andere Eigenschaften sind wichtig. Beispielsweise soll die Batterie möglichst wenig Energie in Wärme umwandeln, weil

man dann Verluste hat und die Batterie kühlen muss. Auch die Lebensdauer ist ein wichtiges Forschungsthema. Die Batterie sollte so lange leben wie das Fahrzeug – 10 bis 15 Jahre. Und die Kosten, weil ja sonst niemand die Batterien kauft. Man darf aber die Sicherheit und Umweltfreundlichkeit nicht zugunsten der Kosten opfern. Es ist ein Spannungsfeld.

Wie kann es gelingen, noch mehr Energie in die Batterien zu packen?

Heutige Batterien für Laptops oder Mobiltelefone haben Energiedichten von 200 bis 250 Wattstunden pro Kilogramm (Wh/kg). Die Chemie würde theoretisch Systeme bieten, die für reine Energiematerialien die höchste Energiedichte von 6000 Wh/kg erlauben. Das ist aber nur Theorie. Man muss ja die Materialien noch verarbeiten, braucht ein Gehäuse und so weiter. Das «Ende der Fahnenstange» wird sicher bei einer Energiedichte von unter 2000 Wh/kg liegen.

Das hiesse aber immer noch eine knapp zehnmal höhere Energiedichte als heute. Wann kann man solche Batterien kaufen?

Als Ingenieur sage ich: Die Entwicklung wäre schnell, wenn es in zehn Jahren soweit ist. Das wären dann Lithium-Luft-Batterien, die Lithium und Sauerstoff nutzen. Aber dort ist man erst ganz am Anfang der Entwicklung. Wir haben am PSI zusammen mit Kollegen aus St. Andrews in Schottland gezeigt, dass das Prinzip funktionieren kann – eine Laborversion der Batterie konnten wir mehrfach laden und entladen.

Zur Person

Der 1956 in Brünn (Mähren, damals Tschechoslowakei) geborene Petr Novák hat in Prag einen Abschluss als Diplom-Chemie-Ingenieur gemacht. Seit 1991 arbeitet er am PSI, inzwischen als Leiter der Sektion Elektrochemische Speicher. Neben den wissenschaftlichen Möglichkeiten war die Nähe zu den Bergen für den begeisterten Wanderer ein Grund, in die Schweiz zu kommen.

Konzentriert sich die Batterieforschung des PSI nur auf die Entwicklung neuartiger Batteriesysteme?

Nein, gleichzeitig sind wir auch daran, vorhandene Systeme zu optimieren. Wir arbeiten an Lithiumionen-Batterien, wie sie

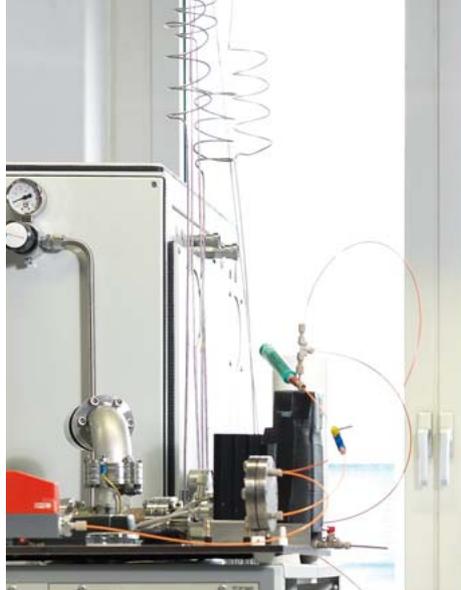
schon heute sehr viel eingesetzt werden. Und wir untersuchen vorhandene Batterien oder Batteriematerialien, um zu verstehen, aus welchen Gründen die Lebensdauer oder die Energiedichte nicht gut genug ist und schlagen dann bessere Lösungen vor.

Welche Verbesserungsmöglichkeiten haben Sie konkret gefunden?

Wir arbeiten zum Beispiel seit vielen Jahren mit der Firma TIMCAL aus Bodio im Tessin zusammen. TIMCAL stellt Graphit her, den man für Elektroden für Lithiumionen-Batterien braucht und beliefert damit halb Asien. Es gibt einen Mechanismus, der den Graphit zerfallen lässt und so die Lebensdauer der Batterie verkürzt. Wir haben untersucht, wieso der Graphit zerfällt und gelernt, wie man den Prozess unterdrückt.

Sie führen überhaupt viele Untersuchungen in Kooperation mit der Industrie durch. Heisst das, die Industrie kann das nicht selbst?

Korrekt. Auf jeden Fall nicht in der Breite, die oft notwendig wäre. Aufgabe der Industrie ist es, Batterien zu entwickeln und zu produzieren. Solange das System funktioniert, braucht man nicht alle Fragen im Detail zu beantworten. Wenn aber Probleme auftreten, ist das genaue Wissen über die Vorgänge in der Batterie, wie wir es am PSI haben, Gold wert. Und wir haben über die Jahre auch die nötige Infrastruktur für die Untersuchungen aufgebaut.



Batterieforscher Petr Novák im Labor.

Aber Sie forschen nicht nur zusammen mit der Industrie?

Wir betreiben auch eigene Grundlagenforschung, deren Ergebnisse wir veröffentlichen, sodass sie jedermann zur Verfügung stehen, der sie nutzen kann und will – der Industrie und auch anderen Forschungszentren. Auf jeden Fall ist diese Grundlagenforschung nur dann sinnvoll, wenn die Ergebnisse auch von der Industrie genutzt werden. Sie wird mit Geldern der Steuerzahler finanziert. Darum ist es wichtig, dass man damit etwas macht, das in der Schweiz und in Europa Arbeitsplätze schafft.

Als Sektionsleiter haben Sie vermutlich viele administrative Aufgaben zu bewältigen. Kommen Sie selbst noch zum Forschen?

Selbst im Labor zu stehen und zu experimentieren – dafür reicht die Zeit leider nicht. Aber ich komme zum Forschen, weil ich Konzepte entwickle und mit meinen



Mitarbeitern wissenschaftliche Probleme diskutiere und so zu Lösungen beitragen kann. Ich bin auch sehr froh, dass ich mein Wissen weitergeben kann – an meine Mitarbeitenden, Doktorierenden und meine Studierenden an der ETH.

Batterieforschung am PSI – angesehen in der Forschergemeinde

- Im August wurde das Forschungsnetzwerk «Elektrochemie und Batterien» vom weltweit grössten Chemiekonzern BASF gemeinsam mit dem PSI und Universitäten aus Deutschland und Israel gestartet. Dabei sollen gemeinsam grundlegende Fragen zu Materialien, Komponenten und Systemen für die Elektromobilität und Stromspeicherung entwickelt werden.
- Im September erhielt der Chemiker Andreas Hintennach den «swisselectric research award 2010» für seine Forschung zu Lithiumionen-Batterien, die er im Rahmen seiner Doktorarbeit am PSI und an der ETH Zürich durchgeführt hatte.

Partnerschaft für nuklearmedizinische Spitzenforschung

Herstellung eines Krebsmedikaments

Jede Krebsbehandlung erzeugt unweigerlich ein Dilemma: Sie soll den Tumor effektiv zerstören und das gesunde Gewebe möglichst wenig schädigen. Einen Weg, wie man dieses Ziel erreichen kann, zeigen die Forschenden des Zentrums für Radiopharmazeutische Wissenschaften ZRW am PSI auf. Sie entwickeln Krebsmittel, die ein radioaktives Atom enthalten. Dieses erzeugt eine Strahlung, die auf den Tumor zerstörend wirkt. Damit das Radionuklid seine Wirkung möglichst nur am erkrankten Gewebe entfaltet, verbinden es die Forschenden mit Antikörpern – massgeschneiderten Biomolekülen, die die Oberfläche eines Tumors erkennen und sich daran festbinden können.

Im Rahmen eines aussergewöhnlichen Engagements stellt das ZRW seit Mitte 2010 einzelne Patientendosen eines hoch wirksamen Krebsmedikamentes der Firma Bayer Schering Pharma her. Es handelt sich um das Medikament ⁹⁰Y-Zevalin®, das in Form eines Bausatzes mit mehreren Komponenten erhältlich ist und für jeden Patienten frisch zubereitet werden muss. Den nuklearmedizinischen Zentren in der Schweiz fehlen jedoch oft die notwendigen Einrichtungen für die technisch anspruchs-

volle Fertigstellung dieses Arzneimittels. Auf Wunsch von Schweizer Spitalärzten bereitet das ZRW den Wirkstoff nun auf Bestellung in seinen Laboratorien zu.

Tumorthherapie nach Mass

Zevalin wird zur Behandlung von Patienten mit follikulärem B-Zell-Non-Hodgkin-Lym-

phom (NHL) verwendet. Diese Krebserkrankung befällt das lymphatische System, das Teil der körpereigenen Immunabwehr ist. Aktuelle Studien zeigen, dass Patienten, die nach der herkömmlichen Chemotherapie zusätzlich mit Zevalin behandelt werden, deutlich länger krankheitsfrei leben.

Die therapeutische Wirkung des Medikaments beruht darauf, dass die radioaktive

Susanne Geistlich bei der Herstellung einer Patientendosis ⁹⁰Y-Zevalin®. Der dazu am PSI benutzte Laborraum muss strengste Qualitätsvorschriften erfüllen.





Substanz Yttrium-90 am Tumor angereichert wird. Das Radionuklid erzeugt eine Strahlung, die bis zu 5 Millimeter tief ins Gewebe eindringen kann. Als Träger und Transportvehikel dient ihm ein Antikörper, der die Eigenschaft besitzt, spezifisch an die NHL-Zelle zu binden. Dies garantiert, dass nur Tumorzellen bestrahlt werden. Yttrium-90 hat eine kurze Halbwertszeit – nach 2,7 Tagen ist es bereits zur Hälfte zerfallen. Das limitiert die Strahlenbelastung der Patienten. Allerdings kann man das Medikament nicht auf Vorrat produzieren.

Gesetzliche Sicherheitsbestimmungen verlangen für die Herstellung von Zevalin ein sogenanntes Typ-B-Labor mit umfangreichen baulichen Strahlenschutzvorkehrungen. Da das ZRW über ein solches Labor verfügt, hat sich die Leitung entschlossen, Spitälern mit weniger aufwendigen Arbeitsbereichen auszuhelfen. Die Pharmazeutin Susanne Geistlich, Leiterin Qualitätssicherung am ZRW, erklärt den Kern der Kooperation: «Das Radionuklid, der Antikörper und die Reagenzien werden vom externen Partner bereitgestellt. Unsere Aufgabe ist es, aus den Komponenten das aktive Therapiemolekül herzustellen. Die Markierung erfolgt unter aseptischen Bedingungen in speziellen Kammern, deren Bleiwände die Mitarbeitenden vor Strahlung schützen. Diese Ar-

beiten werden ferngesteuert ausgeführt.» Die fertigen Patientendosen sind acht Stunden haltbar und werden nach einer eingehenden Qualitätskontrolle direkt an die Spitäler ausgeliefert.

Durch den verbesserten Zugang zu Zevalin möchte das PSI einen Beitrag zu einer noch besseren Behandlung von Krebspatienten in der Schweiz leisten. Roger Schibli, Leiter des ZRW, betont, es handle sich bei dem Unterfangen um ein klar definiertes Pilotprojekt. «Wir verstehen unsere Dienstleistung als eine Hilfestellung für schweizerische Ärzte, die das Medikament gerne bei der Behandlung ihrer Patienten einsetzen möchten, dies aber bisher praktisch nicht konnten», erläutert Schibli.

Gemeinsam stark

Der Schwerpunkt der Aktivitäten des ZRW liegt jedoch klar in der Entwicklung neuer Diagnosemittel und Therapien gegen Krebs und andere Krankheiten. Das Zentrum wird gemeinsam von den Institutionen PSI, ETH Zürich und Universitätsspital Zürich getragen. Es vereint und koordiniert die Ressourcen der drei Partner. An allen Standorten wird an innovativen Therapiemolekülen geforscht. Mit dem PSI-eigenen Injektor-Zyklotron können dazu verschiedene Radionuklide unterschiedlicher Art, Intensität

und Reichweite der Strahlung hergestellt werden. Am Standort ETH Zürich Höggerberg werden neuartige diagnostische Radiopharmazeutika entwickelt. Das Universitätsspital schliesslich bringt die Klinik für Nuklearmedizin mit in die Partnerschaft. Dort laufen alle Fäden der diagnostischen und therapeutischen Anstrengungen der drei Partner zusammen.

Die schweizweit einzigartige Kombination von Laborinfrastruktur, technischen Forschungsanlagen und Spezialisten verschiedener Fachrichtungen ermöglicht einen interdisziplinären Ansatz, der neben der reinen Grundlagenforschung auch klinische Anwendungen umfasst. Vorteilhaft ist zudem, dass beim Eintritt eines Wirkstoffes in die klinische Versuchsphase der umständliche Wissenstransfer von der Forschung zur Produktion unter hohen Qualitätsstandards fast gänzlich wegfällt. Durch die Möglichkeit, sowohl therapeutische als auch diagnostische Radionuklide anzubieten, hebt sich das ZRW einerseits von grossen europäischen Forschungszentren ab, die nur Diagnostiknuklide herstellen, und andererseits von den radiopharmazeutischen Zentren an Spitälern, bei denen die Herstellung von Therapienukliden für die Patientenversorgung im Vordergrund steht.

Blutbestandteil auch für die Elektronik nützlich

Neue Karriere für Biomolekül

Ob Flugzeugflügel oder Klettverschluss – überall begegnen wir technischen Lösungen, die der Natur abgeschaut sind. Am PSI beschränken sich die Forschenden nicht darauf, naheliegende Anwendungen aus der Natur zu entlehnen. Sie denken beispielsweise darüber nach, wie ein Molekül, das im menschlichen Körper für den Sauerstofftransport zuständig ist, auch ganz andere Aufgaben übernehmen könnte.

«Porphyrin» ist der Name dieses Moleküls. Im Organismus ist es Bestandteil des roten Blutfarbstoffs Hämoglobin. Es ist ein kleines flaches Molekül, gut einen Nanometer mal einen Nanometer gross. In dessen Mitte sitzt, wie die Spinne im Netz, ein Eisenatom. Im Blut kann sich der Sauerstoff an dieses Atom binden und so durch den Körper an seinen Bestimmungsort reisen. Doch solch ein Metallatom, das in einem organischen Molekül aufgehängt ist, kann noch ganz andere Dinge. Es hat nämlich ein magnetisches Moment – verhält sich also wie eine winzige Kompassnadel. Und feine magnetische Strukturen sind heute Grundlage zahlloser technischer Geräte – etwa als Teile von magnetischen Speichern wie Computerfestplatten. So erhoffen sich Forschende von jedem neu entdeckten

magnetischen Material, dass es technisch nutzbar sein könnte.

So auch beim Porphyrin-Molekül. An diesem Molekül forscht die Gruppe molekulare Nanowissenschaft am Labor für Mikro- und Nanotechnologie des PSI mit Kollegen in anderen Ländern seit mehreren Jahren um die Wette. Zunächst haben die Forschenden gelernt, die Moleküle in grosser Zahl auf einer magnetisierten Metalloberfläche zu befestigen. Im Jahr 2005 berichteten sie, dass sie die Ausrichtung der magnetischen Momente an den Metallatomen der Porphyrin-Moleküle steuern konnten, indem sie die Magnetisierungsrichtung der Unterlage veränderten. Das

Modell eines Porphyrinmoleküls. In der Mitte in rot das Metallatom.

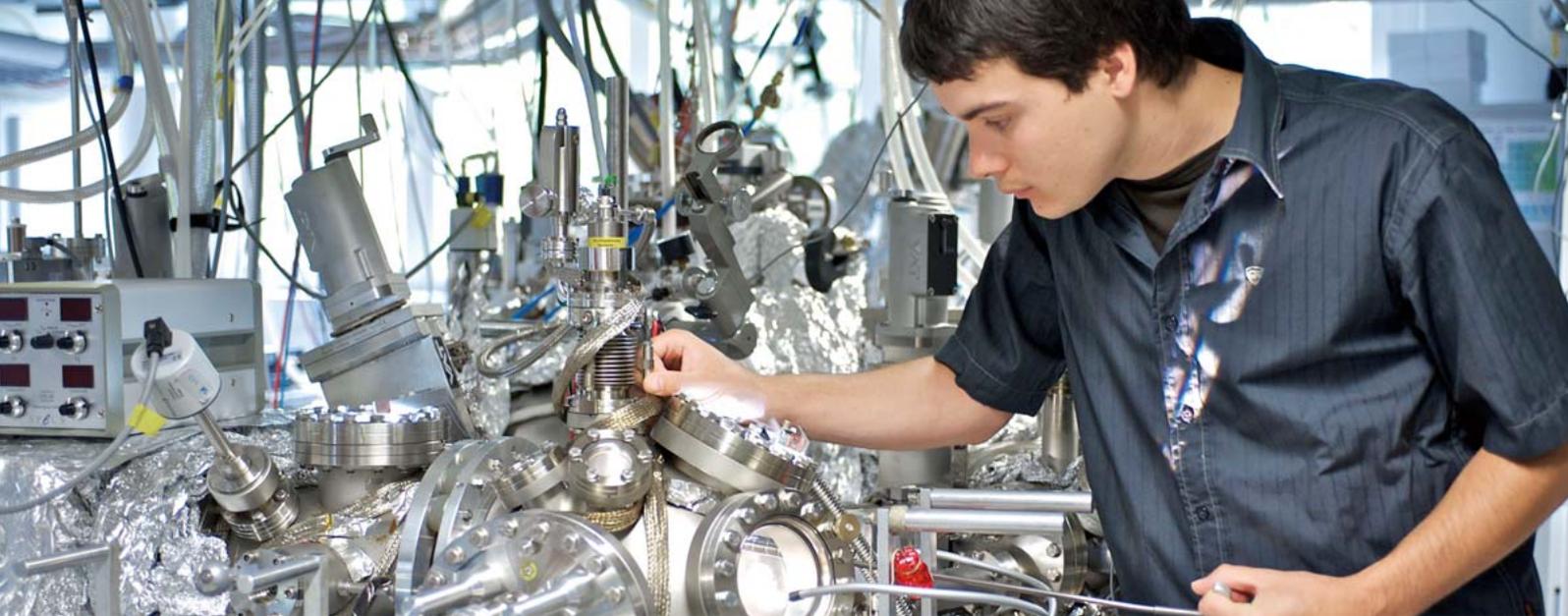


bewies, dass man die Moleküle als winzige Schalter verwenden könnte.

Magnetismus ausschalten

Das Thema «Porphyrin» blieb über die Jahre aktuell, auch wenn sich die Gruppe weitgehend verändert hat – junge Forschende sind weitergezogen, neue hinzugekommen. Für Kontinuität sorgt Thomas Jung, Leiter der Gruppe und seit Frühjahr 2010 Titularprofessor an der Universität Basel. Seit vielen Jahren verknüpft er in der Nanoforschung die Kompetenzen des PSI und des Swiss Nanoscience Institute an der Uni Basel. Seit 2010 tut er das mit Unterstützung des Kantons Aargau, der seine neue Professur im Rahmen des Argovia-Netzwerks mit Mitteln für Doktorandenstellen unterstützt.

So geförderte Doktorierende waren nun wesentlich an den neuen Einsichten beteiligt, die die Gruppe im vergangenen Jahr in der renommierten Fachzeitschrift *Nature Communications* veröffentlicht hat: Man kann den Magnetismus des Porphyrin-Moleküls nicht nur um-, sondern auch ausschalten. «Es reicht, das Metallatom im Porphyrin – für dieses Experiment haben



Doktorand Christian Wackerlin transferiert eine Probe ins Rastertunnelmikroskop.

wir das Eisen durch Kobalt ersetzt – mit einem Molekül von Stickstoffmonoxid zu verbinden. Das Metall reagiert dann nicht mehr auf die Änderung der Magnetisierung der Unterlage», erzählt der Doktorand Christian Wackerlin. Nachweisen liess sich dies an einem Mikroskop an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS, das feine Strukturen nicht nur vergrössert, sondern auch zeigt, wie sie magnetisiert sind.

Datenspeicher, Quantencomputer, Glasbeschichtungen, ...

Zunächst klingt das Ergebnis wenig spannend. Die wertvolle Eigenschaft des Materials wird einfach zerstört. Wenn es aber möglich wäre, gezielt einzelne Moleküle, oder auch nur kleine Molekülgruppen mit dem Stickstoffmonoxid zu verbinden, könnte das Grundlage für einen neuartigen Speicher sein, bei dem die Informationen in den zwei Zuständen «reagiert auf Magneti-

sierung» und «reagiert nicht auf Magnetisierung» gespeichert würden. Man könnte somit einen EPROM bauen, einen dauerhaften Speicher, der aber auch wieder gelöscht werden könnte. Jung erklärt wie: «Zum Löschen müsste man ihn einfach erwärmen. Dabei würden sich die Stickstoffmonoxid-Moleküle lösen, und der Speicher wäre wieder frei für neue Inhalte. Man könnte sogar zwei verschiedene Arten von Molekülen an das Kobalt binden, die sich bei verschiedenen Temperaturen lösen.»

Das alles nur im Konjunktiv, denn das Ergebnis ist vorerst nur Grundlagenforschung. «Für eine Elektronik-Anwendung müssten wir einige wenige Moleküle innerhalb eines Kollektivs von Molekülen gezielt verändern. Bisher können wir nur das ganze Kollektiv manipulieren», sagt Nirmarya Ballav, Postdoc in Jungs Gruppe, von dem die Idee für die Experimente stammt. «Aufgrund unserer Ergebnisse ist es aber denkbar, dass sich einzelne Moleküle ver-

ändern liessen. Und dass man so einen Speicher bauen könnte.»

Im Konjunktiv nennen die Forschenden auch weitere Anwendungen. So könnte es möglich sein, mit den Porphyrin-Molekülen die für Quantencomputer benötigten, ungewöhnlichen quantenphysikalischen Zustände zu erzeugen. Ein anderer Gedanke ist, Glas mit solchen Molekülen zu beschichten und mithilfe von Stickstoffmonoxid die optischen Eigenschaften gezielt zu verändern. Grundlage wäre ein vertrauter Effekt: Die Farbe unseres Blutes hängt auch davon ab, ob die Porphyrin-Moleküle gerade mit Sauerstoff verbunden sind oder nicht. «Welche Anwendungen sich tatsächlich verwirklichen lassen, wird man wohl erst in etwa zehn Jahren wissen», so Jung zu den Spekulationen.

Originalveröffentlichung:
Controlling spins in adsorbed molecules by a chemical switch, Christian Wackerlin, et al., *Nature Comm.* 1, 61 (24 August 2010)



Die Grossforschungsanlagen des PSI

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

Forschen mit grossen Geräten

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

PSI rund 40 verschiedene Messplätze für ihre Experimente vor.

Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS

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

Neutronenspallationsquelle SINQ

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

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

Myonenquelle μS

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

Protonenbeschleunigeranlage

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

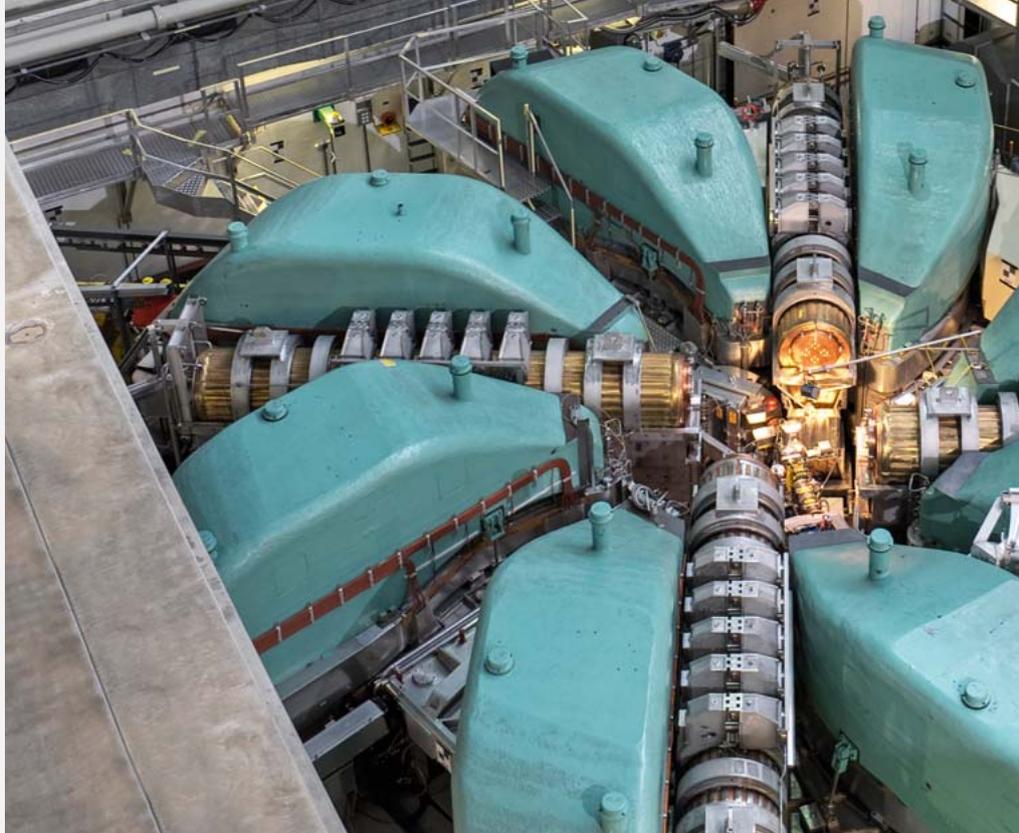
Materials trifft. Der Protonenstrahl wird in der Protonenbeschleunigeranlage des PSI erzeugt. Hier werden die Protonen auf fast 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

Hotlabor, Smogkammer etc.

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

SwissFEL – das Zukunftsprojekt

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



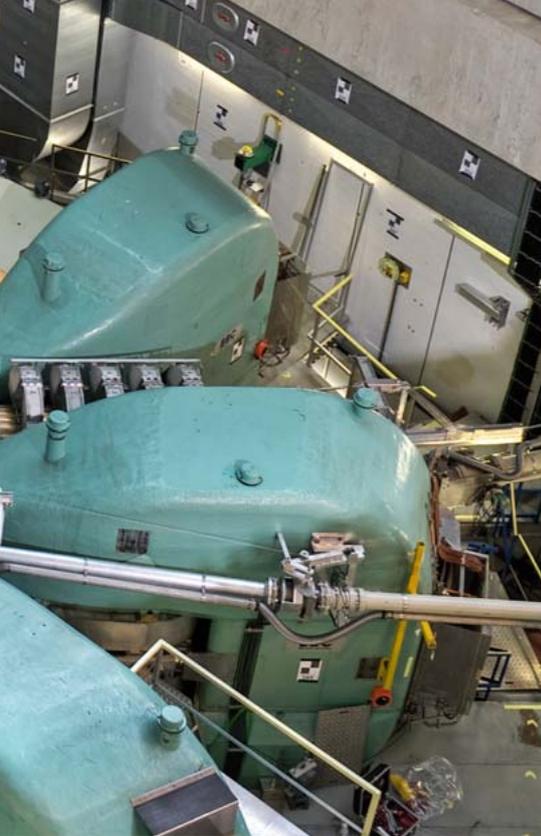
Blick auf den grossen Protonenbeschleuniger, der einen Umfang von rund 48 Metern hat.

Das PSI ist ein Nutzerlabor

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

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

Damit dennoch möglichst viele Forschende Zugang zu Neutronen, Synchrotronlicht oder Myonen erhalten, betreibt das PSI zentral die entsprechenden Grossanlagen: die Neutronenquelle SINQ, die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS und die Myonenquelle μS – eine Kombination an 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, dort zu experimentieren, sowie in der Zahl von Veröffentlichungen, die auf den durchgeführten Experimenten beruhen.

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

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

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

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

Die Forschungsschwerpunkte des PSI

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

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

Materie und Material

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

So geht es zum Beispiel darum zu verstehen, warum manche Materialien 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 CO₂-freie Energieversorgung eingesetzt werden können.

PSI-Forschende arbeiten an Verfahren zur CO₂-neutralen Erzeugung von Energieträgern – sei es mithilfe hoch konzentrierter 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 vorhandenen und zukünftigen Kernkraftwerken noch besser zu verstehen, um so zu deren sicherem Betrieb beizutragen. Hinzu kommen geologische Untersuchungen, die Grundlage für die Suche nach geeigneten Standorten für die Lagerung radioaktiven Abfalls sein sollen.

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

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

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

In der Halle der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS.



Das PSI im Überblick

Ausgaben

Die Ausgaben des PSI beliefen sich 2009 auf CHF 321 Mio.:

Die Finanzen des PSI (Mio. Franken)

Ausgaben	Betrag	%
Betrieb	237,0	73,83
Investitionen	84,0	26,17
Gesamt	321,0	100,00

Mittelaufteilung

Finanzierungsbeitrag Bund	239,9	74,74
Drittmittelausgaben	81,1	25,26

Drittmittleinnahmen

Privatwirtschaft	28,3	35,33
Forschungsförderung Bund	15,6	19,48
EU-Programme	8,1	10,11
Beitrag des Kantons Aargau zur Protonentherapie	10,0	12,48
Andere Einnahmen	18,1	22,60
Gesamt	80,1	100,00

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

Festkörperforschung und Materialwissenschaften	38 %
Lebenswissenschaften	17 %
Nukleare Energie und Sicherheit	18 %
Teilchenphysik	13 %
Allgemeine Energie	14 %

Personal

Die Mitarbeiterzahl am PSI entsprach Ende 2009 rund 1300 Vollzeitstellenäquivalenten. Davon entfielen 463 Stellen auf wissenschaftliches Personal. Hinzu kamen 185 angestellte Doktorierende, die in der Gesamtmitarbeiterzahl noch nicht berücksichtigt sind. 749 Stellen sind mit Mitarbeitenden besetzt, die technische oder Ingenieurstätigkeiten ausführen. Mit ihrer vielfältigen Kompetenz sorgen sie dafür, dass die vorhandenen wissenschaftlichen Anlagen des Instituts stets zuverlässig funktionieren und neue plangemäss aufgebaut werden. Damit haben sie wesentlichen Anteil an den wissenschaftlichen Leistungen des Instituts. 91 Stellen sind der Administration zugeordnet. 23,1 % der Mitarbeitenden sind Frauen, 42 % sind ausländische Staatsbürger.

Organisation

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

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

Beratende Organe

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

Impressum

Fenster zur Forschung
Ausgabe 01/2011

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

Originalveröffentlichungen zu den
Beiträgen auf Seite 6f.:

**Magnetic flux lines in type-II
superconductors and
the "hairy ball" theorem**

Mark Laver and Edward M. Forgan
Nature Communications, 1 (27 July 2010)

The size of the proton

Randolf Pohl et al.
Nature, 466, 213–216 (8 July 2010)

Bildlegenden für ganzseitige Fotos:

Seite 3:
Sommerstudent Aike Gerdes justiert
eine neu entwickelte Elektronenkanone
zur Erzeugung von brillanten Elektronen-
pulsen, die für den SwissFEL genutzt
werden könnten.

Seite 12:
Testbatterien werden auf ihre
elektrochemischen Eigenschaften
untersucht.

Seite 16:
Pharmazeutin Susanne Geistlich bei der
Herstellung einer Patientendosis.

Seite 20:
Luftaufnahme des Paul Scherrer Instituts.

Fotoaufnahmen:
Alle Fotos Scanderbeg Sauer
Photography, ausser:
Seite 3, 19, 20 Markus Fischer
Seite 6 Bildarchiv PSI

Weitere Exemplare zu beziehen bei:
Paul Scherrer Institut
Kommunikationsdienste
5232 Villigen PSI, Schweiz
Telefon +41 (0)56 310 21 11
info@psi.ch

psi forum – Das Besucherzentrum
des Paul Scherrer Instituts
Sandra Ruchti
Telefon +41 (0)56 310 21 00
psiforum@psi.ch, www.psiforum.ch

iLab – Das Schülerlabor des
Paul Scherrer Instituts
Dr. Fritz Gassmann
Telefon +41 (0)56 310 26 47
ilab@psi.ch, www.ilab-psi.ch

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

Paul Scherrer Institut, Januar 2011
ISSN 1664-8854

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 1400 Vollzeitstellenäquivalenten sind wir das grösste schweizerische Forschungsinstitut. Wir entwickeln, bauen und betreiben komplexe Grossforschungsanlagen. Jährlich kommen rund 2000 Gastwissenschaftler aus der Schweiz, aber auch aus der ganzen Welt zu uns. Genauso wie die Forscherinnen und Forscher des PSI führen sie an unseren einzigartigen Anlagen Experimente durch, die so woanders nicht möglich sind.