

Jahresbericht 2009



Jahresbericht 2009

Inhalt

4 Vorwort des Direktors

Im Verbund mit der globalen Forschergemeinschaft

6 Das PSI in Kürze

Grossforschungsanlagen, Spitzenforschung, Tumorthapie...

8 Zukunftsprojekt SwissFEL

10 Röntgenlicht in Laserqualität

12 Mit Elektronenkanone und Laserblitzen in die Zukunft

14 Beste Experimentiermöglichkeiten am neuen Röntgenlaser

16 Warten auf den SwissFEL

18 Glanzlichter 2009

20 Katalysatoren bei der Arbeit zugeschaut

22 Auf der richtigen Bahn bleiben

24 Auf den Zahn gefühlt

26 Olivenöl im Dienste der Reaktorsicherheit

28 Wenn Schnabeltiere Fieber haben

30 Virtuelle Schnitte durch keltische Münzen

32 Den Lebensnerv des Tumors treffen

34 Der Luftverschmutzung auf der Spur

36 Beschleunigerabfall erlaubt Blick ins junge Sonnensystem

38 Beherrscher des Zufalls

40 Dem Fehler stets voraus

42 Pionierarbeit am PSI setzt Trends in der Strahlenmedizin

44 Zusammenarbeit mit der Industrie

46 Scharnier zwischen Wissenschaft und Wirtschaft

48 Eine Blaupause für die Zukunft

50 Blick ins Innere einer Motorsäge

52 Dienstleistungen für die Forschergemeinschaft

54 Messzeit am PSI – gefragt wie nie

56 Kristallisierte Grundbausteine des Lebens

58 Vom Urknall zur Magnetfeld-Fotografie

60 Vermischtes

62 In Krisen Köpfe kennen

64 Ausgezeichnete Forschung

66 Non scholae, sed vitae discimus

68 Der Gastgeber

70 Hochkarätige Wissensschaffende am PSI

72 Anhang

74 Das PSI im Überblick

77 Impressum





Im Verbund mit der globalen Forschergemeinschaft

Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser

Die drei grössten Herausforderungen an unsere Gesellschaft sind derzeit eine gesicherte und klimaneutrale Energieversorgung, eine lang anhaltende und bezahlbare Gesundheit einer immer älter werdenden Bevölkerung und der Erhalt einer intakten Umwelt, die wir an unsere Nachkommen weitergeben können.

Weltweit entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue industrielle Verfahren, neuartige Werkstoffe und Materialien oder Medikamente, die zu Lösungen dieser Probleme beitragen können. Nach Neuerungen kann man jedoch nur gezielt suchen, wenn die zugrunde liegenden Vorgänge gut verstanden sind. Dazu dient die Grundlagenforschung. So muss man etwa die mit einer Krankheit verbundenen Prozesse im Organismus erst verstehen, um wirksame und zugleich nebenwirkungsarme Medikamente entwickeln zu können. Grundlagenforschung ist jedoch keine systematische Vorstufe der angewandten Forschung. Sie steht vielmehr für erkenntnisorientierte und zweckfreie Forschung. Das heisst, der reine Erkenntnisgewinn steht zunächst im Vordergrund. Zweckfrei forschen bedeutet, der eigenen Neugier zu folgen und zum Wissen über die Welt um uns herum beitragen zu wollen.

Am Paul Scherrer Institut betreiben wir Grundlagen- und angewandte Forschung. Dazu entwerfen, entwickeln, bauen und betreiben wir grosse und komplexe Forschungsanlagen auf Weltniveau und stellen diese der schweizerischen und internationalen Forschergemeinde zur Verfügung. Warum?

Viele Fragestellungen in Physik, Chemie, Biologie oder den Materialwissenschaften können nur durch Untersuchungen an Grossforschungsanlagen beantwortet werden, wie sie universitäre Institute nicht selbst betreiben können. Am PSI haben wir drei einzigartige Grossanlagen auf einem Campus: die Neutronenspallationsquelle SINQ und die Myonenquelle μS , die beide von einem Protonenbeschleuniger gespeist werden, sowie die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Rund 2000 Forschende aus der Schweiz, aber auch aus vielen anderen Ländern, nutzen jedes Jahr das Angebot, hier Experimente durchzuführen. Deshalb bezeichnen wir das PSI auch als Nutzerlabor.

Ein nobelpreiswürdiges Nutzerlabor

So misst auch Venkatraman Ramakrishnan vom MRC Labor für Molekulare Biologie im englischen Cambridge seit 2003 regelmässig am PSI. Auf seinen Messungen an der SLS und auf Experimenten an anderen Synchrotronanlagen beruhen drei wichtige Publikationen, die das Nobelpreiskomitee bewogen haben, Ramakrishnan – zusammen mit zwei Kollegen – den Nobelpreis 2009 in Chemie zu verleihen. Ramakrishnan ist nur einer von vielen, die immer wieder gerne ans PSI kommen – im Jahr 2009 wurden 1225 Anträge für Messzeit gestellt, wovon wir aus Kapazitätsgründen nur etwa die Hälfte berücksichtigen konnten. Die Qualität der Anlagen, die Vielfalt von Methoden und die Unterstützung durch unsere Experten sind für die Forschenden wichtige Gründe, sich für unsere Einrichtung zu entscheiden.

SwissFEL – ein wichtiger Beitrag zum Forschungsplatz Schweiz

Das PSI forscht zurzeit intensiv an einer neuen Grossanlage. Ab 2016 wird sie Wissenschaftlern zur Verfügung stehen und bisher nicht realisierbare Experimente erlauben. Das Grossprojekt «Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlicht-Laser» – abgekürzt SwissFEL – wird dazu beitragen, den Forschungsstandort Schweiz zu sichern.

Dabei nutzen unsere Fachleute ihre durch die Synchrotron Lichtquelle Schweiz gewonnenen Kompetenzen, um eine technologisch einzigartige Anlage zu entwickeln, die international Massstäbe setzen wird. Weltweit gibt es bereits drei Röntgenlaser, von denen einer in den USA bereits im Betrieb ist und zwei weitere – in Europa und Japan – zurzeit gebaut werden. Der SwissFEL wird jedoch dank der neuen Ideen der Forscherinnen und Forscher am PSI wesentlich kompakter und preiswerter gebaut werden können.

Als nationale Schweizer Anlage orientiert der SwissFEL sich stark an den Forschungsinteressen und – Erfahrungen der Schweizer Hochschulen und der Schweizer Industrie und berücksichtigt deren strategische Forschungsplanung. Gleichzeitig leistet das PSI einen wesentlichen Beitrag zur langfristigen Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wirtschaft.

Gemeinsame Professuren mit Hochschulen

Die Schweizer Hochschulen nutzen die Grossanlagen des PSI intensiv. Damit eine für beide Seiten erfolgreiche



Forschungstätigkeit resultiert, braucht es eine dauerhafte, enge und vertrauensvolle Zusammenarbeit. Die Einrichtung gemeinsamer Hochschulprofessuren hat sich als geeignetes Instrument erwiesen, um diese Zusammenarbeit zu institutionalisieren.

turbulogie, Radiochemie, Radiopharmazeutische Technologien, Heterogene Katalyse und Experimentalphysik.

2009 waren insgesamt 44 Wissenschaftler des PSI an einer Hochschule als ordentlicher oder ausserordentlicher Professor, als Titularprofessor oder Privatdozent

Dass PSI-Forschende gleichzeitig an Hochschulen aktiv sind, hat lange Tradition. Seit Herbst 2008 setzen wir diese Form von Kooperation noch gezielter ein. In gemeinsamen Findungskommissionen von Hochschule und PSI suchen wir ideale Kandidaten und Kandidatinnen, die nicht nur Spitzenforschung betreiben und sich im akademischen Lehrbetrieb wohlfühlen, sondern auch die gewünschte Funktion als Brückenbauer zwischen Hochschule, PSI und dem spezifischen Forschungsumfeld übernehmen können.

Bei der Auswahl der Forschungsgebiete für gemeinsame Professuren gehen wir am PSI strategisch vor, indem wir wichtige Schlüsselfelder unserer eigenen Forschungstätigkeit eng mit jenen der kooperierenden Hochschulen verbinden. So haben wir 2009 fünf ordentliche und zwei ausserordentliche Professuren gemeinsam mit der ETH Zürich, der ETH Lausanne und der Universität Bern bestellt bzw. umgesetzt – dies in den Forschungsfeldern Festkörperphysik, Teilchenphysik, Struk-

tätig. Schwerpunktmässig geschah dies an den beiden ETH, doch lehrten PSI-Fachleute auch an der Universität Zürich sowie an den Universitäten Basel, Bern, Genf, Groningen, Tübingen und Freiburg i.Br. Zudem nahmen rund 40 weitere PSI-Wissenschaftler ohne Titulierung Lehraufträge an diversen Hochschulen wahr.

Ein fruchtbares Miteinander von Hochschulen und Forschungsinstituten wird dauerhaft nur dann zustande kommen, wenn beide Seiten von der Kooperation profitieren. Für die beiden ETH, die Universitäten und die Fachhochschulen ist die hohe wissenschaftliche Qualität der Forschung am PSI ein wesentliches Argument für die Zusammenarbeit. Ebenso wichtig ist, dass die Grossgeräte und Methoden am PSI komplementär zu den Forschungsmöglichkeiten in den eigenen Labors sind. Für das PSI bieten gemeinsame Professuren die Möglichkeit, sich aktiver in das akademische System der Schweiz einzubringen. Durch die Beteiligung an der Lehre hat das Institut zudem die Chance, die besten Studierenden schon früh für die eigenen Forschungsthemen zu begeistern und gezielt zu fördern.

Wenn Sie beim Lesen dieses Jahresberichts Interesse daran gefunden haben, mehr über uns zu erfahren, laden Sie sich ein, unseren neuen Internetauftritt zu besuchen: www.psi.ch.

Professor Dr. Joël Mesot
Direktor Paul Scherrer Institut

Grossforschungsanlagen, Spitzenforschung, Tumortherapie...

Das Paul Scherrer Institut in Kürze

«Das Paul Scherrer Institut entwickelt, baut und betreibt grosse und komplexe Forschungsanlagen und stellt sie der nationalen und internationalen Forschungsgemeinde zur Verfügung» – so steht es am Ende jeder Medienmitteilung, die das PSI verschickt. Die grossen und komplexen Forschungsanlagen sind die Besonderheit des Instituts – es gibt sie nur einmal in der Schweiz, denn ihr Betrieb ist sehr aufwendig.

Gleichzeitig gibt es an Hochschulen und andern Forschungseinrichtungen Forschende vieler Disziplinen, die mithilfe von Experimenten an Grossanlagen entscheidende Erkenntnisse für ihre Arbeit gewinnen können. Deshalb öffnet das PSI als Nutzerlabor den Zugang zu den Anlagen für externe Wissenschaftler. Um Messzeit bewerben können sich Forschende aus aller Welt – über den Erfolg des Antrags entscheidet allein die wissenschaftliche Qualität.

Rund 2000 Forscherinnen und Forscher nutzen dieses Angebot jedes Jahr. Angezogen werden sie 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.

Intensives Röntgenlicht und kleine Teilchen

Ein erheblicher Teil der Forschung an den Grossgeräten des PSI widmet sich den Eigenschaften zusammengesetzter Materie. Beispiele für Forschungsthemen sind Aufbau und Eigenschaften von magnetischen Materialien oder komplexen Biomolekülen.

Die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS erzeugt Synchrotronlicht – hoch intensives und stark gebündeltes Röntgenlicht, dessen Eigenschaften in vielfacher Weise an die Bedürfnisse des einzelnen Experiments angepasst werden können. Das Licht wird von Elektronen abgestrahlt, die sich mit fast Lichtgeschwindigkeit auf einer Kreisbahn von 282 Metern Umfang bewegen. An 16 Strahllinien kann hier gleichzeitig experimentiert werden.

Die Neutronenspallationsquelle SINQ und die Schweizer Myonenquelle μS erzeugen Neutronen und Myonen – beides Teilchen, mit denen man das Innere von Materialien erkunden kann. Die Teilchen entstehen, wenn ein Strahl schneller Protonen auf ein sogenanntes Target – einen Kohlenstoffring für die Erzeugung von Myonen, einen Bleiblock zur Erzeugung von Neutronen – trifft. Der Protonenstrahl stammt aus der grossen Protonenbeschleunigeranlage des PSI, die die Protonen auf rund 80 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Am PSI stehen heute 15 Messplätze für Neutronenexperimente und 6 für Untersuchungen mit Myonen zur Verfügung.

Auf einigen Gebieten ergänzen sich Experimente an mehreren dieser Anlagen. Die Tatsache, dass es am PSI diese drei Anlagen an einem Ort gibt, ist für viele Wissenschaftler ein Grund, sich für Experimente am PSI zu entscheiden. Das nicht nur, weil die Anlagen räumlich nahe beieinander sind, sondern auch weil sie hier mit PSI-Forschern zusammenarbeiten können, die Erfahrung mit der kombinierten Nutzung der Anlagen haben.

Ab 2016 soll am PSI noch eine weitere Grossforschungsanlage zur Verfügung stehen: der Röntgenlaser SwissFEL. Er wird sehr kurze und sehr intensive Röntgenlichtpulse liefern und so ermöglichen, ultraschnelle Vorgänge wie etwa die Atombewegung bei chemischen Reaktionen sichtbar zu machen.

Ein traditionelles Forschungsthema des PSI ist die Elementarteilchenphysik – die Erforschung der kleinsten Bausteine der Materie. Auch für die Forschung auf diesem Gebiet werden die Grossanlagen des PSI genutzt. Eine wichtige Fragestellung ist die Überprüfung des Standardmodells der Elementarteilchenphysik.

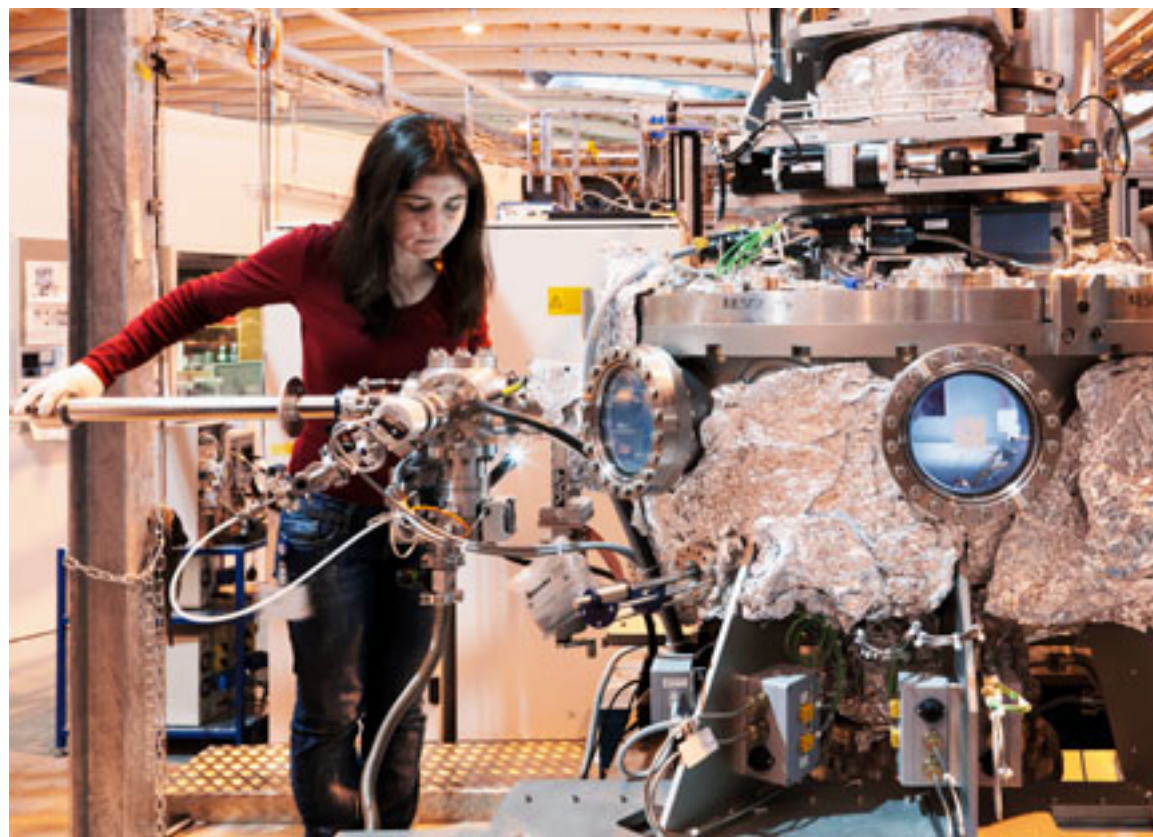
Eigene Forschung

Die PSI-Mitarbeitenden kümmern sich nicht nur um den Betrieb der Grossanlagen, sie unterhalten auch ein eigenes Forschungsprogramm. Neben den bereits erwähnten Themen spielt die Energieforschung eine be-

sonders grosse Rolle. Ziel ist es, Technologien für eine nachhaltige Energienutzung zu entwickeln: umweltfreundliche Energieerzeugung, erneuerbare Energiequellen sowie die sichere Nutzung der Kernenergie. Die eigene Forschung des PSI konzentriert sich auf Themen, bei denen Experimente an den Grossanlagen besondere Vorteile bieten. So können die PSI-Forschenden davon profitieren, dass sie auf dem eigenen Gelände einzigartige Experimentiermöglichkeiten haben. Gleichzeitig können sie dank ihrer Erfahrung die Messplätze an den Grossanlagen an die Bedürfnisse aktueller Fragestellungen anpassen und so das PSI als attraktives Nutzerlabor aufrechterhalten.

Tumorthherapie mit Protonen

Eine ganz besondere Anwendung der Grossanlagen ist die Protonentherapie am PSI. Denn hier werden an Krebs erkrankte Patienten mit Protonenstrahlen behandelt, die ursprünglich auch von der grossen Protonenbeschleunigeranlage geliefert wurden. Das PSI betreibt das einzige Protonentherapiezentrum der Schweiz und bietet zurzeit zwei Behandlungsplätze, für die inzwischen ein eigener Beschleuniger betrieben wird. Die Protonentherapie macht es möglich, einen gut abgegrenzten Tumor vollständig zu zerstören und dabei das umliegende Gewebe optimal zu schonen.



Postdoc Raquel de Souza an der SIM-Strahllinie der SLS, mit der magnetische Materialien untersucht werden.

Weitere Anlagen

Neben den Grossanlagen verfügt das PSI noch über eine Reihe weiterer besonderer wissenschaftlicher Einrichtungen, die zum Teil auch von externen Forschenden genutzt werden können. Das sind insbesondere das Hotlabor, an dem hoch radioaktive Objekte wie Brennstäbe aus Kernkraftwerken untersucht werden, die

Testanlage PANDA in der sicherheitsrelevante Abläufe von kerntechnischen Anlagen erforscht werden, der Sonnenofen, an dem Experimente zur Erzeugung von Brennstoffen mit hoch konzentrierter Sonnenstrahlung durchgeführt werden oder die Smogkammer, in der Vorgänge in der Atmosphäre unter kontrollierten Bedingungen simuliert werden.

Zukunftsprojekt SwissFEL

«Das Paul Scherrer Institut entwickelt, baut und betreibt grosse und komplexe Forschungsanlagen ...» heisst es in der PSI-Kurzbeschreibung. Zurzeit spielt das Entwickeln und Bauen neben dem Betreiben wieder eine besonders grosse Rolle. Denn im Jahr 2016 soll am PSI die nächste Grossanlage in Betrieb gehen: der Röntgenlaser SwissFEL.

Die wichtigsten Ereignisse des Jahres 2009: Ihre Arbeit aufgenommen haben die beiden Projektleiter Rafael Abela und Hans Braun. Ein «Baseline-Entwurf» zeigt, wie der SwissFEL mit heute verfügbarer Technologie gebaut werden kann. Der gemeinsam mit über 20 Hochschulgruppen erarbeitete «SwissFEL-Science-Case» gibt auf rund 100 Seiten einen detaillierten Überblick über mögliche Forschungsthemen und Experimente. Eine Halle, in der die erste Beschleunigungsstufe des SwissFEL getestet werden soll, ist fertig geworden. Am 4. Mai wurde das Projekt der Schweizer Industrie vorgestellt, um so kompetente Partner für Entwicklung und Aufbau der Anlage zu gewinnen. Und schliesslich: Die Anlage hat ihren endgültigen Namen SwissFEL bekommen und die Arbeitsbezeichnung PSI-XFEL abgelegt.





Röntgenlicht in Laserqualität

Neue PSI-Grossforschungsanlage SwissFEL: Ultrakurze Röntgenlichtpulse machen extrem schnelle Prozesse sichtbar

Am SwissFEL, dem geplanten neuen Grossgerät des PSI, werden Forschende Abläufe verfolgen können, die unvorstellbar wenig Zeit brauchen – etwa 100 Femtosekunden. Diese kurze Zeitspanne brauchen beispielsweise zwei miteinander verbundene Atome, um sich einmal aufeinander zu und wieder voneinander weg zu bewegen. Für die Forschenden ein spannender Prozess, denn die Atome in einem Molekül trennen sich besonders leicht, um eine neue Bindung einzugehen, wenn ihre Atome besonders weit voneinander entfernt sind. Eine solche Bewegung der Atome steht am Anfang einer chemischen Reaktion, bei der sich Stoffe ineinander umwandeln. Und weil die Forschenden genau verstehen wollen, wie solche Reaktionen im Detail ablaufen, wollen sie auch die verschiedenen Phasen in Bildern festhalten. Dafür brauchen sie Belichtungszeiten, die noch deutlich kürzer sind als die 100 Femtosekunden. Die kurzen Blitze dafür wird der SwissFEL liefern: Röntgenlichtpulse, die bis zu 10 Femtosekunden kurz sein werden.

Dabei ist nicht nur wichtig, dass die Pulse kurz sind, es ist auch entscheidend, dass es Röntgenlicht ist und nicht etwa «gewöhnliches», sichtbares Licht. In diesem liessen sich nicht die Details sichtbar machen, die die Forschenden sehen möchten. Physikerinnen begründen das damit, dass die Wellenlänge des Lichts ungefähr so gross sein muss wie die Strukturen, die man ansehen möchte. Die Wellenlänge von Röntgenlicht passt genau für atomare Strukturen, diejenige von sichtbarem Licht ist viel zu gross.

Spannende Perspektive

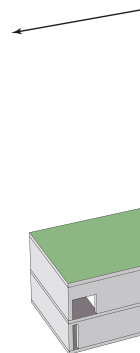
Diese Möglichkeiten lassen schon viele Forscher aus verschiedenen Disziplinen über mögliche Experimente nachdenken. Darunter John Evans von der Universität im englischen Southampton. «A very exciting prospect» – «eine sehr spannende Perspektive,» nennt der Forscher die Aussicht, chemische Reaktionen mit Femtosekundenpulsen zu verfolgen. Dabei erhofft er sich vom SwissFEL Einblicke in die Abläufe katalytischer Reaktionen – also solcher, an denen ein sogenannter Katalysator beteiligt ist. In der Sprache der Chemie ist das eine Substanz, die bei einer Reaktion zwar nicht verbraucht wird, aber dennoch unerlässlich ist, weil sie die Reaktion effizient macht oder überhaupt erst ermöglicht. Mit seinem Interesse ist Evans' nicht allein: Reaktionen dieser Klasse werden zu den wesentlichen Forschungsthemen am SwissFEL gehören. Diese Themen sind auch von überaus praktischer Bedeutung, denn über 80 % aller Prozesse in der chemischen Industrie benötigen einen Katalysator. Zu den bekanntesten katalytischen Reaktionen gehören die Synthese von Ammoniak, eines Grundstoffs für die Kunstdüngerproduktion, oder Evans' Forschungsthema – die Umwandlung von giftigen Abgasen im Autokatalysator. «Und es gibt viele weitere drängende Herausforderungen, die nach Lösungen aus der chemischen Forschung verlangen. Etwa die Erhöhung der landwirtschaftlichen Produktivität, die Sicherung der Trinkwasserversorgung, die Entwicklung neuer Medikamente,

Umwandlung und Speicherung von Energie, Klimawandel und viele andere», betont Evans die Bedeutung der Arbeiten zu katalytischen Reaktionen.

Grosse Anlage für kleine Strukturen

Was für die vorhandenen Grossanlagen des PSI gilt, wird auch die neue Anlage betreffen: Will man sehr kleine Strukturen im Detail beobachten, braucht man oft eine grosse Anlage. Der SwissFEL wird 700 Meter lang sein. Auf diesen 700 Metern werden einzigartige Hightech-Komponenten aufgebaut, die in ihrem Zusammenspiel die kurzen und intensiven Röntgenlichtpulse erzeugen werden.

Die Pulse werden von sehr schnellen Elektronenpaketen abgestrahlt, die einer schlangenförmigen Bahn folgen. Dazu werden Elektronen zunächst von einem Laserstrahl aus einer Metallplatte herausgelöst. Sie werden anschliessend zu sehr kompakten Elektronenpaketen geformt und in einer Beschleunigerkombination auf beinahe Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Dabei gewinnen sie eine Bewegungsenergie als hätten sie eine Spannung von 6 Milliarden Volt durchlaufen und sind schnell genug für den Magnet-Undulator. Dies ist eine rund 60 Meter lange Anordnung von vielen Tausend Magneten, die den Elektronenstrahl auf eine enge Schlangenlinie zwingen. Hier entstehen die Röntgenpulse, denn Elektronen, die gezwungen werden, ihre Geschwindigkeit oder Richtung zu ändern, strahlen elektromagnetische



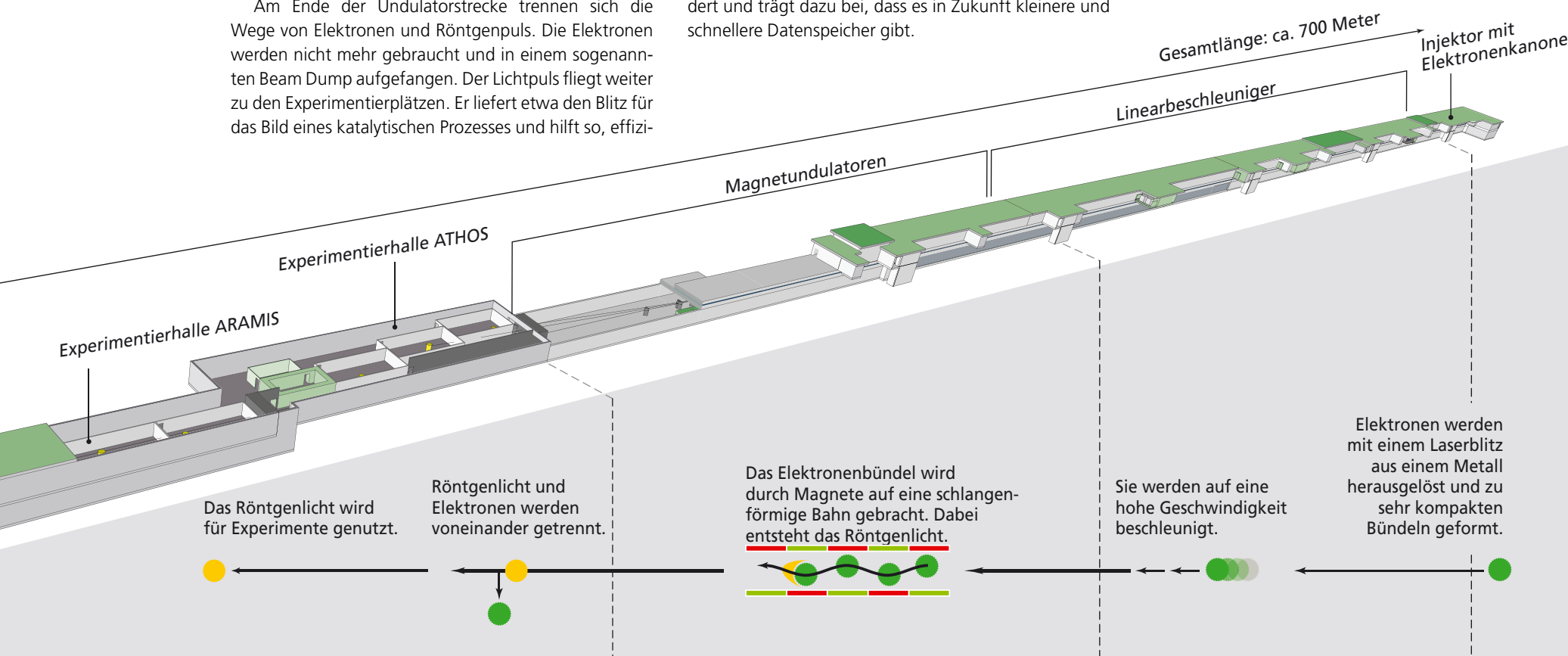
Strahlen ab. Je nach Art der Elektronenbewegung können das Radiowellen, sichtbares Licht oder eben Röntgenlicht sein – wenn die Kurven besonders eng sind. Am SwissFEL beeinflusst das Röntgenlicht auch wieder die Bewegung der Elektronen im Undulator, sodass sich Elektronen und Licht gewissermassen gegenseitig aufschaukeln und die Röntgenpulse besonders intensiv werden und Eigenschaften von Laserstrahlen erhalten. Die Fachleute sprechen von einer lawinenartigen Verstärkung. Die Tatsache, dass er mithilfe frei fliegender Elektronen Röntgenpulse in Laserqualität produziert, gibt einem XFEL, wie der SwissFEL einer sein wird, auch den Namen: FEL steht für Freie-Elektronen-Laser, das X für X-ray, die englische Bezeichnung für Röntgenstrahlen.

Am Ende der Undulatorstrecke trennen sich die Wege von Elektronen und Röntgenpuls. Die Elektronen werden nicht mehr gebraucht und in einem sogenannten Beam Dump aufgefangen. Der Lichtpuls fliegt weiter zu den Experimentierplätzen. Er liefert etwa den Blitz für das Bild eines katalytischen Prozesses und hilft so, effizien-

te Prozesse für die chemische Industrie zu entwickeln. Oder er wird Teil eines ganz anderen Forschungsprojekts und macht es möglich, den Aufbau eines wichtigen Biomoleküls aufzuklären und so zur Entwicklung neuer Medikamente beizutragen. Oder er zeigt, wie man die Magnetisierungsrichtung in einem Material rasch ändert und trägt dazu bei, dass es in Zukunft kleinere und schnellere Datenspeicher gibt.

Die Femtosekunde

- Eine Femtosekunde entspricht 10^{-15} Sekunden = 0,000 000 000 001 Sekunden. Eine Femtosekunde ist also ein Millionstel eines Milliardstels einer Sekunde.
- Licht, das sich schneller bewegt als alles andere in der Welt, kommt in einer Femtosekunde gerade mal 0,3 Mikrometer weit. Das ist etwa ein Tausendstel der Dicke eines Haars.
- In eine Sekunde passen so viele Femtosekunden wie Sekunden in 31,7 Millionen Jahre.



Mit Elektronenkanone und Laserblitzen in die Zukunft

Der SwissFEL-Beschleuniger nimmt Formen an – im Grossen wie im Kleinen

Am Paul Scherrer Institut arbeiten Forschende an einer wissenschaftlichen Grossanlage, wie es sie bis vor Kurzem nirgendwo gab. Und von der man nicht einmal sicher wissen konnte, ob sie überhaupt funktionieren kann. Man hatte alles theoretisch berechnet. «Aber es hätte ja sein können, dass man bei den Rechnungen etwas vergessen hat», räumt Projektleiter Hans Braun ein.

Im April 2009 war aber klar: Es kann funktionieren. Im kalifornischen Stanford erzeugte der erste XFEL intensive Röntgenlichtpulse in Laserqualität. Genau das, was auch der SwissFEL – die neue Anlage am PSI – tun soll.

Von Zukunftsprojekt zu Zukunftsprojekt

Die Wissenschaftler haben das Jahr 2009 aber nicht damit verbracht, auf Nachrichten aus Amerika zu warten. Sie haben unterdessen einen vollständigen Entwurf der Anlage entwickelt, der innovativste Komponenten enthält, deren Funktionsweise aber entweder am PSI oder in anderen Labors weltweit schon demonstriert wurde. «Wir sind sicher, dass wir einen sehr kompakten und leistungsfähigen Röntgen-FEL bauen können», fasst Braun das wichtigste Ergebnis seines ersten Jahres am PSI zusammen und betont, dass dies dank den aktuellen PSI Entwicklungsarbeiten und den rasanten Fortschritten der FEL Technologie weltweit möglich ist. Vor seiner Zeit am PSI war Braun viele Jahre an der Entwicklung des

CLIC-Beschleunigers – des Zukunftsprojekts des CERN – beteiligt. Hat dann aber die Gelegenheit ergriffen, am PSI mit an der Spitze eines grossen Beschleunigerprojekts zu stehen. Auch wenn er sich hier für seinen Geschmack zu wenig mit Wissenschaft beschäftigt. Denn oft sind es eher profane Dinge, um die sich ein Projektleiter kümmern muss – zum Beispiel Antragspapiere, Baugenehmigungen oder der «Flächenbedarf für die Anlagen-Vormontage». Immerhin bringt ihn die Aufgabe, verschiedene technische Lösungen für den SwissFEL-Beschleuniger zu bewerten, mit interessanten wissenschaftlichen Fragen in Berührung.

Und da gibt es noch eine Menge zu tun, denn der gegenwärtige Entwurf für den SwissFEL ist sicher nicht endgültig. Die Jahre, die bis zum tatsächlichen Bau der Anlage verbleiben, werden die Forschenden nutzen, um den vorhandenen Entwurf zu testen und alternative Lösungen für einzelne Bauteile auszuprobieren. Den passenden Raum dafür bietet eine neue Halle, in der versuchsweise der gesamte Injektor aufgebaut wird, also die gesamte erste Beschleunigungsstufe des SwissFEL.

Elektronen, schön zusammenbleiben

Zum Beispiel wird erst dann klar sein, welche Elektronenkanone den Elektronenstrahl für den SwissFEL erzeugen wird – den Strahl, der nach heftiger Beschleunigung am Ende seiner Bahn von den Magneten des Magnet-Undulators auf eine Slalombahn geschickt wird und dabei die Röntgenlichtpulse abstrahlt. An einer solchen Elektronenkanone arbeitet das Team von Romain Ganter in einem Laborgebäude auf der Ostseite des PSI-Geländes. Wenn der französische Physiker von seiner Arbeit erzählt, spricht er vor allem von dem Ziel, eine Elektronenkanone zu bauen, die eine möglichst kleine Emittanz erzeugt.

Kleine Emittanz bedeutet, dass der Elektronenstrahl nur wenig auseinanderläuft, die Bahnen aller Elektronen also möglichst parallel sind. Und die kleine Emittanz ist entscheidend, weil die Elektronen in jedem Elektronenpaket möglichst nah beieinander bleiben müssen, damit sie besonders enge Kurven im Magnet-Undulator fliegen können. «Wenn man eine hinreichend kleine Emittanz hat, kann man den SwissFEL tatsächlich 700 Meter lang bauen. Ist die Emittanz grösser, müsste der SwissFEL vielleicht 2 Kilometer lang sein», erklärt Ganter die Bedeutung seiner Bemühungen. Denn die Qualität der Elektronenkanone ist hier ganz wesentlich: Elektronen, die gleich zu Beginn in verschiedene Richtungen auseinanderfliegen, kann man nicht mehr einsammeln und auf parallele Bahnen zwingen.

Am Anfang der Elektronenkanone, die gerade im Mittelpunkt von Ganters Arbeit steht, befindet sich ein Laser. Dieser Laser erzeugt kurze Blitze, die aus einer

polierten Kupferoberfläche – der Kathode – Elektronen herausschlagen. Genau synchron mit dem Laserblitz wird ein elektrisches Feld eingeschaltet, das die frei gewordenen Elektronen sofort kräftig in ihre Flugrichtung beschleunigt; eine Hochfrequenzkavität macht die Elektronen dann noch schneller.

Der perfekte Laserblitz: nicht zu schwach und nicht zu stark

Jede der Komponenten der Elektronenkanone trägt zur Emittanz bei. Zum Beispiel der Laser: Es gibt für jede Kathode eine ideale Laserenergie, mit der die Elektronen gerade noch aus der Kupferfläche herausgeschlagen werden, ohne zusätzliche Energie zu bekommen, um in Freiheit unkontrolliert in alle Richtungen auseinanderzufliegen. «Diese zusätzliche kinetische Energie würde die Emittanz verschlechtern. Deswegen haben wir einen so speziellen Laser entwickelt», so Ganter. Das Spezielle an dem Laser ist, dass man seine Energie variieren und so für jede Kathode die genau passende Energie treffen kann. Im Jahr 2009 konnten die Forscher zeigen, dass der Laser tatsächlich hilft, eine bessere Emittanz zu erreichen.

Aber der Laser ist nur ein Puzzleteil, das dazu beiträgt, die Emittanz an der Elektronenkanone klein zu halten. Wichtig ist auch, dass die Elektronen sofort

durch ein starkes elektrisches Feld beschleunigt werden, weil sie einander sonst abstossen und in alle Richtungen auseinanderlaufen. Als Aufgabe bleibt noch, den Zeitverlauf des Laserblitzes zu optimieren: Statt in seiner Intensität langsam anzusteigen und langsam wieder abzufallen, sollte der Puls schlagartig einsetzen und schlagartig enden. Ist das erreicht, stehen die Chancen gut, dass es diese Entwicklung sein wird, die im endgültigen SwissFEL die Elektronen liefern wird. Ausser die Forschenden in Ganter's Labor haben bis 2014 die Elektronenkanone der übernächsten Generation einsatzbereit – eine, in der ein elektrisches Feld die Elektronen aus vielen Metallspitzen zieht.

Christopher Gough montiert die Kathode, aus der die Elektronen für den SwissFEL herausgeschlagen werden, in die Testanlage für die erste Beschleunigungsstufe.



Beste Experimentiermöglichkeiten am neuen Röntgenlaser

Der SwissFEL wird optimal an die Bedürfnisse der Nutzer angepasst

Einen Röntgenlaser wie den SwissFEL zu bauen, ist zunächst eine technische Leistung und ein Beweis für die Möglichkeiten moderner Beschleunigertechnologie. Ziel des Projekts ist den Nutzern die bestmöglichen Experimentiermöglichkeiten mit kurzen Röntgenpulsen zu bieten. Um zu erfahren, was die Nutzer selbst von den Experimenten erwarten, hat das PSI die Forscher gefragt. «Wir haben eine Reihe von Treffen organisiert, um Themen festzulegen, die zukunftssträftig und für Schweizer Forschungsgruppen aus dem akademischen Umfeld und der Industrie relevant sind», erklärt Rafael Abela, Projektleiter Photonik beim SwissFEL-Projekt. Heraus kristallisiert haben sich folgende Themen: Eigenschaften neuer Materialien, Abläufe bei katalytischen Reaktionen, Aufbau von Nanostrukturen, biochemische Prozesse und Vorgänge in magnetischen Materialien für moderne elektronische Bauteile. «Aufgrund der festgelegten Forschungsthemen hat man die möglichen Experimente gewählt und erste Entwürfe der Experimentiereinrichtungen gemacht», erklärt Abela das weitere Vorgehen.

Als Projektleiter Photonik wacht Abela über den ganzen Bereich der Anlage, in der die Lichtpulse unterwegs sind: von den optischen Elementen bis zum eigentlichen Experimentierplatz. Für seinen Job konnte der Physiker schon bei einem anderen PSI-Projekt Erfahrungen sammeln: Er war wissenschaftlicher Projektleiter

beim Bau der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS und später Laborleiter an der SLS. Hier hat er unter anderem eine Anlage mitentwickelt, mit der man Lichtpulse von einigen Femtosekunden Dauer erzeugen konnte, die also so kurz waren wie die Pulse am SwissFEL – aber bei Weitem nicht so intensiv.

Ein Auge für den SwissFEL

Bis die ersten Nutzer im Jahr 2016 ihre Experimente am SwissFEL beginnen können, muss nicht nur die ganze Anlage gebaut werden. Viele Komponenten müssen für die neuen Anforderungen überhaupt erst passend entwickelt werden. Zum Beispiel die Detektoren – gewissermassen die Augen des Experiments, die das Röntgenlicht am Ende des Experiments registrieren. In einem typischen SwissFEL-Experiment hat das Röntgenlicht auf dem Weg zum Detektor die untersuchte Probe passiert und ist dabei in verschiedene Richtungen abgelenkt worden. Aus der Information, in welche Richtung wie viel Licht abgelenkt wurde, können die Forscher auf die Strukturen und Vorgänge in der Probe schliessen.

Die abbildenden Detektoren werden von PSI-Forschenden gemeinsam mit Kollegen anderer Institute entwickelt. Doch zunächst arbeiten die PSI-Spezialisten für den European XFEL in Hamburg, ein Schwesterprojekt des SwissFEL, und leisten so einen Teil des Schwei-

zer Beitrags zu dem internationalen Vorhaben. Der aber nicht ganz uneigennützig ist: «Wir sammeln durch diese Arbeit Erfahrung, die wir bei den Entwicklungen für den SwissFEL werden nutzen können», erklärt Bernd Schmitt, Leiter der Detektor-Gruppe an der SLS.

Mit dem SwissFEL-Detektor will man der Erfolgsgeschichte der Detektorentwicklung am PSI das nächste Kapitel hinzufügen. Einer Erfolgsgeschichte, die damit begann, dass Forschende des PSI einen Detektor für das neue CERN-Experiment bauen sollten. Und feststellen mussten, dass sie mit der vorhandenen Technologie keinen Detektor bauen können, der den Anforderungen entspricht. Sie entwickelten einen völlig neuen Detektor, dessen Technologie darüber hinaus die Entwicklung eines Detektors ermöglichte, der die Experimente an der SLS revolutioniert hat und inzwischen durch eine Spin-off-Firma kommerziell vertrieben wird.

Dass man für den SwissFEL oder den European XFEL nicht einfach die erfolgreichen SLS-Detektoren nutzen kann, liegt an den Eigenschaften des Röntgenlichts, das sie erzeugen werden. Beide sind XFELs (FEL steht für Freie-Elektronen-Laser, das X für X-ray, die englische Bezeichnung für Röntgenstrahlen), und wie für solche Anlagen typisch, erzeugen sie Röntgenlicht in kurzen intensiven Pulsen, während das Licht der SLS über längere Zeit verteilt ankommt. Hier registriert jedes Detektor-Pixel nur, ob Licht angekommen ist oder nicht. Es kann



Xintian Shi, der die Chips für den European XFEL-Detektor entwirft, untersucht einen Chip, der die Messwerte aus einem Pixel des Detektors ausliest.

aber nicht die Intensität des Lichts messen. Da es aber unwahrscheinlich ist, dass mehrere Lichtteilchen in kurzer Zeit auf ein Pixel treffen, kann man davon ausgehen, dass in der Regel jeweils ein einzelnes Lichtteilchen nachgewiesen wurde.

Umschalten in Femtosekunden

Anders bei einem XFEL – hier dauert ein Röntgenpuls nur rund 20 Femtosekunden, sodass alle Lichtteilchen aus einem Puls in einer so kurzen Zeit auf den Detektor treffen, dass er sie als gleichzeitig wahrnimmt. Doch für das Messergebnis ist es ein grosser Unterschied, ob nur ein Teilchen beobachtet wurde oder 10000. Der XFEL-Detektor muss also auch messen, wie viele Lichtteilchen angekommen sind. Kein Problem, wenn die Zahl der Teilchen irgendwo zwischen 1 und 100 liegt. Sind es mehr, ist das Pixel gesättigt und kann die weiteren Teilchen nicht registrieren. Es zeigt immer das Ergebnis 100. Stellt man den Detektor weniger empfindlich ein, kann er zwar mehr Lichtteilchen nachweisen, wird aber bei schwacher Lichtintensität ungenau, sodass Informationen verloren gehen. Die Lösung heisst «dynamische Anpassung der Verstärkung»: Jedes Pixel hat drei verschiedene Empfindlichkeitsstufen, die bei jedem Röntgenpuls automatisch neu eingestellt werden, je nachdem wie viel Licht auf dieses Pixel trifft. So bekommen die Forschenden die volle Information von jedem Pixel, egal ob dort viel oder wenig Licht auftritt. Im Dezember 2009 konnten die Forschenden zeigen, dass das Verfahren tatsächlich funktioniert.

Als Nächstes werden sie einen solchen Detektor am LCLS in Kalifornien, dem ersten und bisher einzigen funktionierenden XFEL weltweit, testen. 2011, wenn die technischen Vorgaben feststehen, können sie sich daran machen, die Detektoren für den SwissFEL zu bauen.

Warten auf den SwissFEL

Forschende erhoffen sich von Experimenten am Röntgenlaser vielfältige Einsichten

Atomen während einer Reaktion zusehen

John Evans von der Universität Southampton erforscht chemische Reaktionen, die einen Katalysator benötigen. Darunter sind solche, die bei der Abgasreinigung im Auto genutzt werden oder auch die Fischer-Tropsch-Reaktion, die es ermöglicht, Erdöl zu sparen, indem sie alternative Ausgangsprodukte für die petrochemische Industrie verfügbar macht. Dabei findet er es nicht ungewöhnlich, an Vorgängen zu forschen, die seit Langem bekannt sind: «Die meisten Katalysatoren sind ursprünglich durch Versuch und Irrtum entdeckt worden. Will man sie optimieren und als Grundlage für zuverlässige technologische Prozesse nutzen, muss man die zugrunde liegenden Vor-



Professor Dr. John Evans
School of Chemistry, University of Southampton, England

gänge verstehen», so der Forscher, der auch gleich eine Vision anbieten kann, die ihn in seiner Arbeit antreibt: «Das oberste Ziel der Katalysatorforschung ist, Verfahren zu entwickeln, bei denen die Ausgangsstoffe möglichst vollständig umgewandelt werden und bei denen möglichst wenig Energie verbraucht wird. Das wäre der Inbegriff nachhaltiger Technologie.»

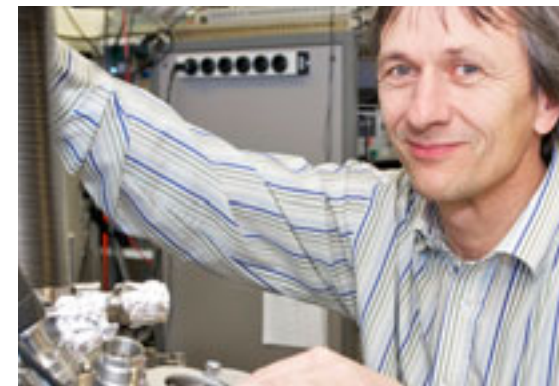
Dabei kann jeder noch so kleine Schritt in diese Richtung wichtig sein. Denn Katalysatoren sind an rund 80 % aller Prozesse in der chemischen Industrie beteiligt, sodass auch eine kleine Effizienzsteigerung im industriellen Massstab zu grossen Einsparungen führen kann. Ein solcher Katalysator ist eine Substanz, die an einer chemischen Reaktion teilnimmt, ohne verbraucht zu werden. Und doch unverzichtbar ist, weil sie die Reaktion effizient ablaufen lässt oder überhaupt erst möglich macht.

«Will man eine katalytische Reaktion verstehen, muss man vor allem herausfinden, wie sich die Atome bei den einzelnen Reaktionsschritten bewegen und beobachten, wie sich Elektronen und Energie währenddessen verteilen», so Evans. «Die Pulse des SwissFEL werden hinreichend kurz sein, um diese extrem kurzen Zwischenschritte zu beobachten. Die nachfolgenden Vorgänge, die deutlich länger dauern, wird man dann an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des Paul Scherrer Instituts beobachten können. Die räumliche Nähe der beiden Quellen wird grossartige wissenschaftliche Möglichkeiten eröffnen.»

Magnetismusforschung an den Grenzen des Machbaren

«Kleiner und schneller» heisst seit Jahrzehnten die Devise beim Bau von elektronischen Geräten. Daran, dass Geräte auch in Zukunft kleiner und schneller werden, arbeiten Rolf Allenspach und seine Gruppe am IBM Forschungslabor in Rüschlikon. Als Grundlagenforscher sucht er nach unbekanntem physikalischen Effekten, die man nutzen könnte, um bei Computerchips die Miniaturisierung weiter voranzutreiben.

Zum Beispiel interessiert er sich für magnetische Vorgänge auf sehr kurzer Zeitskala. Erste Experimente mit sehr kurzen Strompulsen zeigten tatsächlich neuartige



Dr. Rolf Allenspach
IBM Forschungslabor, Rüschlikon

Effekte. «Von XFELs versprechen wir uns den nächsten Schritt bei diesen Untersuchungen. Wir werden mehr Details und auch kleine magnetische Veränderungen sehen – und das alles mit höchster Zeitauflösung», freut sich Allenspach. Dabei betont er: «Die Forschung mit dem SwissFEL wird Forschung an den Grenzen des Machbaren sein; die Effekte, die dabei gefunden werden, sind also weitgehend unvorhersehbar.» Man weiss also auch nicht, welchen Nutzen die Ergebnisse haben werden. Gleichzeitig wird man an einem XFEL aber auch viel schneller in ganzen Materialklassen bestimmte magnetische Eigenschaften suchen können.

Doch nicht nur für den einzelnen Forscher ist der SwissFEL von Bedeutung. «Für den Forschungsstandort Schweiz ist der Betrieb solcher Anlagen von grösster Wichtigkeit. Er erzeugt eine «Hightech»-Kultur in Forschung und Entwicklung, eine Zulieferindustrie und hoch qualifizierte Arbeitsplätze in der Wirtschaft», so Allenspach. Zur Aussicht, auch IBM-Forscher am SwissFEL zu sehen, sagt der Physiker: «IBM als globale Firma ist nicht von einem spezifischen Standort abhängig. So werden jetzt Synchrotronexperimente dort gemacht, wo es für die Fragestellung am erfolgversprechendsten ist. Mitarbeiter meiner Gruppe haben aber auch schon Experimente an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz des Paul Scherrer Instituts durchgeführt, weil die SLS hervorragend für diese Experimente geeignet war und die Forscher am PSI auf diesem Gebiet führend sind. Ich gehe davon aus, dass dasselbe für den SwissFEL der Fall sein wird.»

Molekulare Maschinen bei der Bewegung fotografieren

Wie molekulare Motoren im Detail funktionieren, damit beschäftigt sich Dagmar Klostermeier von der Universität Basel. Eine lebende Zelle ist immer voller Bewegung. Es werden Zellbestandteile durch die Zelle transportiert, neue Moleküle werden nach dem im Erbgut enthaltenen Bauplan aufgebaut und nicht mehr benötigte Moleküle werden abgebaut. Für Bewegung sorgen dabei vor allem molekulare Maschinen – winzige biologische Roboter, die oft aus mehreren komplizierten Biomolekülen bestehen, die gewissermassen die Bauteile der Maschine darstellen.



Professor Dr. Dagmar Klostermeier
Biozentrum, Universität Basel

Klostermeier möchte insbesondere wissen, wie das Molekül während der verschiedenen Zwischenstufen – Konformationen – der Bewegung aussieht. Besonders interessieren sie Maschinen, die sich an der Erbsubstanz DNA zu schaffen machen. Sie sorgen dafür, dass die Zelle genau nach Bauplan unterschiedlichste Moleküle produziert und dass bei der Zellteilung jede neue Zelle ein vollständiges Set an Erbinformationen bekommt. Geht bei diesen Vorgängen etwas schief, entstehen lebensbedrohliche Krankheiten. Und so schafft ein Verständnis der Vorgänge nicht nur neues Wissen über die Grundprozesse des Lebens, sondern liefert auch gleich Hinweise darauf, wo die Entwicklung neuer Medikamente ansetzen könnte.

«Für unsere Untersuchungen an molekularen Maschinen markieren wir zwei Punkte in einem Molekül und verfolgen, wie sich deren Abstand verändert. So bekommen wir einen Eindruck von der Bewegung des Moleküls, können dabei aber nicht die vollständige Struktur sehen», erklärt Klostermeier. «Mit der Röntgenkristallografie an der SLS erhalten wir zwar die genaue Struktur der Moleküle, aber nur für einzelne Konformationen. Und so haben wir auch vor, den SwissFEL zu nutzen. Denn hier sollte es möglich sein, die Struktur vieler einzelner Moleküle in verschiedenen Stufen der Bewegung zu bestimmen und so auch die seltenen Konformationen zu erwischen. Das würde uns helfen, die Mechanismen der molekularen Maschinen genau zu verstehen.»

Glanzlichter 2009

Nachhaltige Lösungen finden für zentrale Fragen aus Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft – hierbei mitzuwirken, ist die Aufgabe der Forscherinnen und Forscher am Paul Scherrer Institut. Eine Auswahl von Projekten aus der Grundlagen- und angewandten Forschung finden Sie auf den folgenden Seiten.





Katalysatoren bei der Arbeit zugeschaut

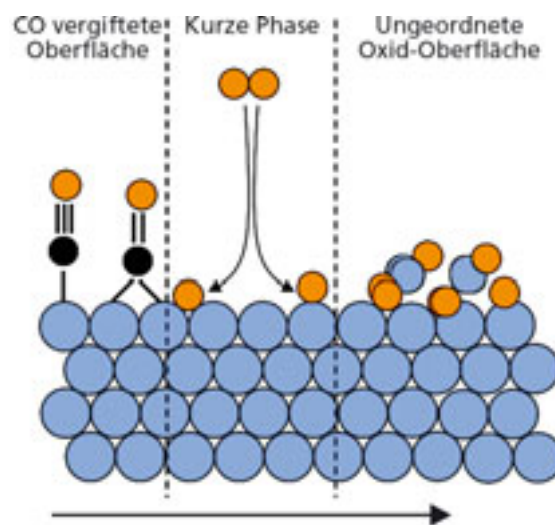
Neue Einblicke könnten Autokatalysatoren deutlich effizienter machen

Die orangefarbene Fläche an der Stirnseite der Betonabschirmung am Messplatz X10 DA Super-XAS der Synchrotronlichtquelle Schweiz SLS des PSI ist kein Zufall. «Den Farbton durfte ich mir aussuchen», sagt Maarten Nachtegaal. Name und Akzent verraten den schlanken Mann auf Anhieb als Niederländer. In den vergangenen Jahren baute er hier mit seinem Team eine Messeinrichtung auf, mit der er besonders gut die Reaktionen in Katalysatoren untersuchen kann. «Voriges Jahr hatten wir schon die Gelegenheit, mit unseren Analysen einen lang andauernden Disput unter Wissenschaftlern zu entscheiden, bei dem es um die Frage ging, wie Ruthenium als Katalysator wirkt», verrät Nachtegaal, der sich Beamline-Scientist nennt, was so viel bedeutet wie Experte für die Forschung mit Synchrotronlicht.

Zusammen mit seinem Landsmann Jeroen van Bokhoven ist er nun wieder einer spannenden Geschichte auf der Spur. Das Duo, das die gleiche Sprache spricht und mit einem ähnlichen Gespür für knifflige Fragen der Festkörperphysik gesegnet ist, hat sich vor gut einem Jahr an der ETH in Zürich getroffen – Nachtegaal hatte sich eine kurze Auszeit genommen, um an der Eidgenössischen Hochschule seine Kenntnisse der Katalysatorchemie zu intensivieren, und van Bokhoven war dort sein Lehrer. Mittlerweile ist auch er der Anziehungskraft des PSI erlegen: Neben seiner Tätigkeit an der ETH leitet van Bokhoven seit Anfang 2010 am PSI das Labor für Energie und Umwelt, dem auch Nachtegaal angehört. Van Bokhovens Karriere lässt sich auf den kurzen Nenner

bringen: Vom Nutzer zum Chef. Denn der Enddreissiger, der wie Nachtegaal in Utrecht studiert hat, nutzte die Synchrotronlichtquelle bereits vorher intensiv als Gast-

wissenschaftler. «Hier gibt es viele gute Leute. Das inspiriert ungemein», sagt der niederländische Hochschullehrer.



Einzelne Reaktionsschritte des zyklischen Arbeitens von Platin-katalysatoren konnten erstmals an der SLS aufgeklärt werden. In einem ersten Schritt bedecken Kohlenmonoxidmoleküle das Platin (linkes Teilbild, orange = Sauerstoff, schwarz = Kohlenstoff, blau = Platin). Erwärmt man die Platinoberfläche, löst sich das Kohlenmonoxid und Sauerstoff (O_2) kann zum Platin vordringen und in Einzelatome aufgespalten werden. Nicht nur reines Platin sondern auch dessen Oxid können diese Aufspaltungsreaktion in Gang setzen. Die einzelnen Sauerstoffatome können sich jetzt mit den Kohlenmonoxidmolekülen zum weniger schädlichen Kohlendioxid verbinden.

In den Fusstapfen von Nobelpreisträgern

Mit der Messeinrichtung von Nachtegaal konnte das Team nun zum ersten Mal exakt den zeitlichen Ablauf eines wichtigen katalytischen Prozesses verfolgen, für den der deutsche Oberflächenanalytiker Gerhard Ertl im Jahr 2007 unter anderem mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet wurde. «Ertl und die meisten anderen Experimentatoren haben ihre Versuche aber unter Vakuum gemacht», erklärt van Bokhoven den Unterschied. «Wir machen das mit einem echten Katalysator unter realen Bedingungen.»

Es geht vornehmlich um das Reinigen von Autoabgasen, speziell um das Entfernen von Kohlenmonoxid in einem Drei-Wege-Katalysator mit Platin als aktive Substanz. Kohlenmonoxid ist ein starkes Atemgift. Es entsteht bei der unvollständigen Verbrennung kohlenstoffhaltiger Substanzen wie Benzin. Die katalytische Reaktion ist zwar einer der am meisten studierten chemischen Prozesse. Doch viele Details waren bislang ungeklärt. «Wegen der hohen Geschwindigkeit, mit der wir hier am Synchrotron messen können, und der vorzüglichen Analytik sind wir in der Lage, dem Katalysator sozusagen bei der Arbeit zuzuschauen», sagt Nachtegaal. Wie wichtig diese Arbeiten beispielsweise für die



Am Messplatz X10 DA Super-XAS an der SLS platziert Maarten Nachtegaal eine Probe mit Katalysatormaterial.

Autoindustrie sind, deutet der Experimentator folgendermassen an: «Toyota in Japan besitzt eine vergleichbare Anlage. Die lassen aber keine Konkurrenz ran!»

Die Hälfte der Zeit funktioniert der Katalysator eigentlich nicht

Bekannt war, dass sich der Platinkatalysator während der Reaktion zyklisch verändert, wobei wechselweise sauerstoffarme und -reiche Regionen entstehen. «Wir konnten nun zeigen, dass er im Takt von einigen Sekunden zwischen zwei Phasen unterschiedlicher Aktivität hin und her oszilliert», erklärt van Bokhoven. «Während der einen wird das gesamte Kohlenmonoxid zu Kohlen-

dioxid umgesetzt», fügt er hinzu. «Während der anderen reagiert dagegen wenig.»

Das Duo erklärt das mit der sich rhythmisch ändernden Oberflächenbeschaffenheit des Katalysators. «Die eine Phase ist sehr geordnet und daher nicht aktiv», erklärt van Bokhoven. In diesem Zustand bindet der Kohlenstoff des Kohlenmonoxid-Moleküls am Platin, während dessen Sauerstoffatome nach aussen ragen und so die Oberfläche des Edelmetalls abschirmen. Der Sauerstoff aus der Luft kann deswegen nirgends an das Platin heran und genauso wenig mit dem Kohlenmonoxid reagieren. Zuerst muss sich diese Schicht von der Oberfläche lösen. Dann kann das Metall die Sauerstoffmoleküle der Luft, die normalerweise als O₂-Doppelbin-

dungen vorliegen, spalten. Der Sauerstoff verbindet sich dann temporär mit dem Platin respektive stabil mit freien Kohlenmonoxid-Molekülen, die sowieso nichts anderes sind als unvollständig verbrannte Kohlenstoffatome. «Diese Prozesse laufen innerhalb von Sekunden ab», sagt Nachtegaal. «Wir fanden ferner heraus, dass die Platinoxid-Phase, die sehr ungeordnet ist und über sehr viele Defekte verfügt, in einem realen Katalysator ausserordentlich aktiv ist», fasst van Bokhoven das Ergebnis der Arbeiten zusammen.

Die Forscher konnten zugleich zeigen, dass der spontane Ablöseprozess der Kohlenmonoxidmoleküle vom Platin temperaturabhängig ist, wenngleich diese Vorgänge noch nicht bis ins Detail geklärt sind. «Zu verstehen, wie die Prozesse an den Grenzschichten genau ablaufen, wäre höchst interessant», sinniert van Bokhoven. «Doch sind dafür Untersuchungen in Zeitskalen notwendig, die wohl erst mit einem Röntgenlaser erreicht werden, wie beispielsweise dem geplanten Swiss-FEL.» Er träumt davon, künftig das teure Platin durch eine günstigere Metallkombination ersetzen zu können, damit diese wichtige Katalyse noch ökonomischer wird.

Originalveröffentlichung:

Generating Highly Active Partially Oxidized Platinum during Oxidation of Carbon Monoxide over Pt/Al₂O₃: In situ, Time-Resolved, and High Energy-resolution X-ray Absorption Spectroscopy; J. Singh, E. Alayon, M. Tromp, O. Safonova, P. Glatzel, M. Nachtegaal, R. Frahm, J. A. van Bokhoven; *Angew. Chem. Int. Ed.* **47**, 9260-9264 (2008)

Auf der richtigen Bahn bleiben

Eine neue Generation digitaler Kontrollplattformen für Magnetspeisegeräte

Am Paul Scherrer Institut sind Anlagen in Betrieb, die Protonen auf 80 % der Lichtgeschwindigkeit beschleunigen, Elektronen erreichen sogar nahezu Lichtgeschwindigkeit. Starke Magnete lenken den Strahl dieser Teilchen auf die richtige Bahn und halten ihn zusammen. Um zu vermeiden, dass er auseinanderdriftet, muss der Stromfluss durch die Magnete sehr genau steuerbar sein, er darf nur geringsten Schwankungen unterliegen. Solche Schwankungen können beispielsweise von Temperaturänderungen oder Netzspannungsschwankungen herrühren. Um diese extremen Präzisionsanforderungen erfüllen zu können, entwickeln Mitarbeiter des PSI die Geräte, mit denen der Strom in die Magnete eingespeist wird samt zugehörigem digitalem Kontrollgerät selbst. Die Gruppe Leistungselektronik-Controller

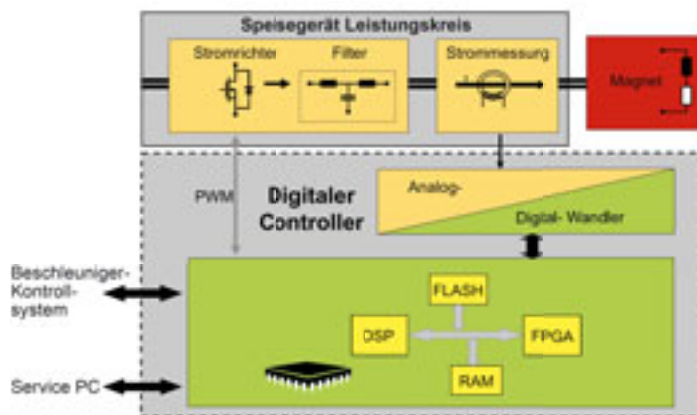
arbeitet unter der Leitung von René Künzi und Martin Emmenegger seit Jahren intensiv an der Entwicklung «digitaler Controller» für Magnetspeisegeräte, die an PSI-Beschleunigeranlagen zum Einsatz kommen, wie zum Beispiel an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS oder am geplanten Röntgenlaser SwissFEL.

Das «Gehirn» des Speisegerätes bildet die Kontrollplattform, die in zweierlei Hinsicht höchsten Ansprüchen genügen muss. Einerseits muss der Magnetstrom sehr präzise mit einer grossen Auflösung und Stabilität gemessen und digitalisiert werden. Andererseits muss die Digitalisierung und die nachfolgende Datenverarbeitung bis hin zur Ansteuerung der Leistungshalbleiter sehr schnell erfolgen, damit allfällige Abweichungen schnell genug erkannt und korrigiert werden können.

Entwicklung der ersten digitalen Kontrollplattform vor über 10 Jahren

Vor über 10 Jahren wurde die erste Generation der digitalen Kontrollplattform für Magnetspeisegeräte entwickelt und an der SLS vielfach eingesetzt. Handelsübliche «digitale Controller» vermochten damals die hohen Anforderungen nur teilweise zu erfüllen. Martin Emmenegger erinnert sich an jene Zeit: «Es musste tief in die Trickkiste gegriffen werden, um die hohen Erwartungen zu befriedigen, und die Beschleunigerwelt musste zuerst von den Vorzügen digitaler Regelungen überzeugt werden».

Langsame Veränderungen der Messeinrichtung infolge Alterung der Bauteile, sogenannte Driftprobleme, konnten weitgehend eliminiert werden. Es ergaben sich neue Möglichkeiten für die Überwachung und Diagnostik der Speisegeräte. Dank modularem Aufbau konnten alle Anwendungen mit der gleichen Hardware abgedeckt werden, was den Wartungs- und Verwaltungsaufwand reduzierte. Die Erfahrungen mit der digitalen Kontrollplattform in der SLS waren durchwegs positiv, weshalb das Konzept schliesslich auch für andere Anlagen am PSI übernommen wurde. Auch international wuchs das Interesse an diesen «digitalen Controllern», was zur Folge hatte, dass die Plattform heute weltweit in verschiedenen Beschleunigeranlagen unter PSI-Lizenz eingesetzt wird. Am PSI sind derzeit ca. 1000 und weltweit ca. 2700 solcher vom PSI entwickelten Systeme der ersten Generation in Betrieb.



Die Grafik zeigt ein vereinfachtes Schaltbild der digitalen Kontrollplattform und deren Einbindung in das Speisegerät. Der Magnetstrom wird gemessen, digitalisiert und dem Controller, bestehend aus einem DSP (Digitaler Signal Prozessor) und einem FPGA (Programmierbarer Logikbaustein), als Istwert zur Verfügung gestellt. Der Sollwert wird in einem digitalen Format 100 000-mal pro Sekunde vom übergeordneten Kontrollsystem des Beschleunigers an den Controller übermittelt. Aus der Differenz zwischen dem Soll- und dem Istwert wird die Ansteuerung der Halbleiter im Speisegerät mittels PWM (Pulsweiten-Modulation) verändert. Dies hat eine Veränderung des Magnetstroms zur Folge mit dem Ziel, den Istwert genau auf den Sollwert zu regeln.

Mehr Präzision und Geschwindigkeit durch die zweite «Controller-Generation»

In den letzten drei Jahren ist am PSI die zweite Generation der digitalen «Speisegeräte-Controller» entwickelt worden. Mit dem Einsatz modernster Komponenten konnten Präzision und Geschwindigkeit nochmals deutlich gesteigert werden.

René Künzi erklärt das neue System: «Wir sind heute in der Lage, den Magnetstrom mit einer Präzision von wenigen ppm (Parts per Million) 600 000-mal pro Sekunde zu messen. Damit lassen sich in Zukunft noch präzisere Magnetspeisegeräte realisieren. Zum Vergleich: Ein einfaches, handelsübliches Ampèremeter misst den Strom mit einer Genauigkeit von ungefähr einem Prozent. Unsere Messungen sind jedoch viel schneller und über tausendmal genauer».

Einen weiteren Vorteil bietet die Möglichkeit, die neue Kontrollplattform modular aufzubauen, was kostengünstige Lösungen zulässt, wenn die Präzisionsanforderungen gelockert werden.

2009 wurden rund 120 Magnetspeisegeräte für den 250 MeV-Injektor gebaut. Dies ist die erste Beschleunigungsstufe des SwissFEL, des neuen PSI-Grossprojekts. Sie sollen im Laufe 2010 mit der neuen Kontrollplattform in Betrieb gehen. In einem weiteren Schritt werden ca. 600 weitere Speisegeräte für den SwissFEL benötigt. René Künzi zieht Bilanz: «Mit dieser zweiten Generation der digitalen Kontrollplattform sind wir wieder auf dem neusten Stand der Technik und damit für die Herausforderungen der nächsten 10 Jahre gerüstet. Die Plattform hat das Potenzial, auch in anderen Beschleunigeranlagen Verwendung zu finden. Wir möchten die Technologie weiteren Interessenten zur Verfügung stellen und hoffen auf eine nachträgliche Beteiligung an unseren Entwicklungskosten».



Martin Emmenegger im Vorbeiräusch am «Controller» eines bipolaren 150A-Speisegerätes in der 250 MeV-Injektorhalle für den SwissFEL.

Auf den Zahn gefühlt

Mit einer neuen Kombination von Messtechniken können auch grosse organische Proben detailgenau durchleuchtet werden

Den Zahnarztbohrer hört niemand gern. Vielleicht wird er künftig seine Schrecken verlieren – auch dank einer zukunftsweisenden Messmethode, die am PSI weiterentwickelt wurde. Noch stehen dem Zahnarzt keine Materialien zur Verfügung, die die originale Struktur des

Zahnes wiederherstellen können. Stattdessen muss er plumpe, statische Massen in das frisch gebohrte Loch füllen. Noch. Doch nun bemühen sich Forschende, die geniale Mikro- und Nanostruktur der Zähne zu verstehen, die so erstaunlich stabil ist. Wäre sie bekannt,

könnte man die Struktur mit Füllungen nachahmen. Dann hätten diese endlich die Stabilität des ursprünglichen Zahnes und müssten nicht alle paar Jahre ausgetauscht werden.

Das ist das Ziel der Forschung von Bert Müller an der Universität Basel. Der Professor für Materialwissenschaften in der Medizin wandte sich bei der Suche nach einer geeigneten Untersuchungsmethode ans Paul Scherrer Institut und erfuhr von den Möglichkeiten der Strahllinie cSAXS (coherent small angle x-ray scattering) an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Dort kann er mit Rasterröntgenkleinwinkelstreuung Bilder erzeugen, die detailliert sichtbar machen, wie Zähne aufgebaut sind.

Vor Kurzem wäre das noch unmöglich gewesen. Denn ein Zahn ist im Verhältnis zu den meist winzigen Proben, die gewöhnlich an der SLS mit Röntgenlicht untersucht werden, ein riesiges Objekt. Zu gross für die üblichen Methoden, mit denen man nanometerkleine Details oder gar die Anordnung der Atome ansieht.

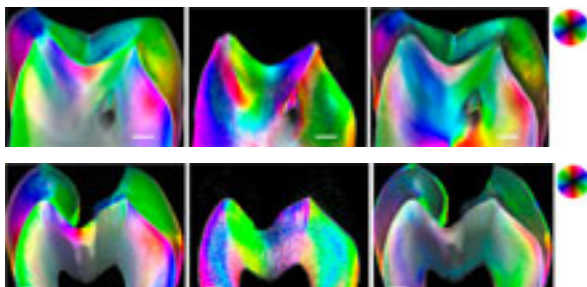
Grosse und ungeordnete Proben

Bisher mussten sich die Forscher entscheiden: Entweder sie nutzten Verfahren, die mit grossen Proben zurechtkamen. Dann erhielten sie Bilder mit einer begrenzten Detailtiefe. Oder sie erhielten hoch detaillierte Darstellungen, aber nur zu Ausschnitten von wenigen Million-



Strahllinienwissenschaftler Oliver Bunk demonstriert, wie auch grosse Proben in der Messapparatur montiert werden können.

stelmeter Grösse. Die an der cSAXS benutzte Technik bildet das lang gesuchte Bindeglied zwischen beiden Möglichkeiten. Hier können erstmals grosse und zudem weiche Proben aus organischem Material untersucht werden, in denen die Atome, anders als in vielen festen Materialien, nicht in regelmässigen Kristall-Mustern angeordnet sind. PSI-Strahllinienwissenschaftler Oliver Bunk erläutert: «Wir können Strukturen sichtbar machen, für die es hochauflösende Messmethoden braucht – und das an Proben, die für diese Methoden viel zu gross wären.» Selbst mehrere Zentimeter grosse Gewebeschnitte für die Krebsgrundlagenforschung können auf Details im Bereich von Mikrometern (Millionstelmetern) oder Nanometern (Milliardstelmetern) hin untersucht werden. Dafür gibt es gewisse Einbussen bei der Detailtreue.



«Andy Warhol beim Zahnarzt» Rasterröntgenkleinwinkelstreuung liefert mehr Information, als sich in einem Bild darstellen lässt. Daher sind für einen gesunden Zahn (obere Reihe) und einen kariösen Zahn (untere Reihe) drei verschiedene Nanostrukturen in je drei Abbildungen dargestellt. Die Orientierung dieser Strukturen wird als Farbe wiedergegeben gemäss dem Farbrad rechts. Durch diese farbige Darstellung wird eine hohe Informationsdichte erzielt.

Zahnschmelz, Dentin und Kollagen

Nehmen wir wieder den Zahn als Beispiel. Unter dem Zahnschmelz, der härtesten Substanz unseres Körpers, besteht er aus Dentin. Das ist relativ flexibel, da es von Kollagenfasern durchzogen ist. Solch eine Faser hat einen Durchmesser von wenigen Dutzend Nanometern. Für die Forscher ist es wichtig zu wissen, wie der Übergang vom Dentin zum Zahnschmelz aussieht und wie die Kollagenfasern angeordnet sind.

An der cSAXS werden nicht die einzelnen Fasern sichtbar, dafür reicht die Auflösung eben nicht. Aber die Wissenschaftler können einen winzigen Punkt am Zahn auswählen und sehen, in welche Richtung die Kollagenfasern im Mittel an diesem Punkt verlaufen und wie dicht sie liegen. Machen sie die Messung an ganz vielen Punkten, bekommen sie einen Überblick über die Nanostruktur im Zahn.

Gigantische Datenmengen über einen einzigen Zahn

Am Zahn werden einige zehntausend Messungen nötig. Der Röntgenstrahl der cSAXS ist dafür auf einen Durchmesser von 20 Mikrometern (μm) eingestellt. Der Trick, wie vergleichsweise grossen Proben wie der Zahn erfasst werden können, scheint simpel: Die Probe wird Stück für Stück, 20 μm für 20 μm , durch den Strahl gefahren. Dabei entstehen gigantische Datenmengen.

Hier kommt Teil zwei der Messmethode ins Spiel – der am PSI entwickelte Pilatus-Detektor. Der Detektor registriert, wie die Röntgenstrahlen auf ihrem Weg durch die Probe abgelenkt werden. Daraus können die Physiker auf die Struktur der Probe schliessen. Herkömmliche

für diese Messmethode geeignete Detektoren wären wochenlang beschäftigt, die Daten aufzunehmen. Pilatus liest 50 Bilder pro Sekunde aus, arbeitet also enorm schnell. Nur so können die gigantischen Datenmengen bewältigt werden.

Seit zwei Jahren ist Oliver Bunk mit seinem Team daran, die Technologie zu verfeinern. Die Untersuchung der Zähne ist die erste Veröffentlichung, die auf dieser Technologie basiert. Verfahren, Objekte durch den Messstrahl zu fahren und abzurastern, gibt es auch an anderen Instituten. Ein ganzes Objekt mit Zehntausenden von Datenpunkten Mikrometer für Mikrometer abzubilden, ist nur am PSI möglich, da man hier mit dem Pilatus-Detektor für die anfallenden immensen Datenmengen gerüstet ist.

Nun hat Bert Müller von den Universitäts-Zahnkliniken in Basel Bilder vom Aufbau der Zähne in bisher nicht dagewesener Detailtreue. Dank des damit gewonnenen Wissens hofft er, eines Tages den Traum der Zahnmediziner und der kariesgebeutelten Patienten zu erfüllen. Der Patient liesse sich Mineralpulver ins Kariesloch geben, das den zerstörten Zahn remineralisiert und im ursprünglichen Zustand wieder aufbaut. Leider: Bis es soweit ist wird es noch viel Strahlzeit am PSI und viel Forschungszeit brauchen.

Originalveröffentlichungen:

Bio-inspired dental fillings; H. Deyhle, O. Bunk, S. Buser, G. Krastl, N.U. Zitzmann, B. Ilgenstein, F. Beckmann, F. Pfeiffer, R. Weiger, R. B. Müller; Biomimetics and Bioinspiration, Proceedings of the SPIE 7401, 74010E (2009).

Multimodal x-ray scatter imaging; O. Bunk, M. Bech, T.H. Jensen, R. Feidenhans'l, T. Binderup, A. Menzel, and F. Pfeiffer; New J. Phys. 11, 123016 (2009).

Olivenöl im Dienste der Reaktorsicherheit

Die weltweit grösste Anlage für Tests zur Sicherheit kerntechnischer Anlagen steht in der Schweiz

Angespannte Ruhe macht sich im Kontrollraum breit: «Druck im Drywell?», ruft Domenico Paladino fragend durch die hell erleuchtete Schaltzentrale über Rechner und Bildschirme hinweg. «2,36 bar!» «Leistung des MW.RP7?» – «1,34 Megawatt!» Es klingt nahezu wie beim Countdown eines Raketenstarts, wenn der Italiener Paladino und sein Team PANDA starten. Über eintausend Messfühler und unzählige Ventilpositionen sind zu prüfen. Fehler dürfen sie sich nicht erlauben. Sonst wäre die Arbeit von Wochen oder gar Monaten umsonst gewesen. «In 3 Jahren hatten wir 24 umfangreiche Tests», sagt Paladino, ohne den Blick vom Monitor abzuwenden. Doch obwohl PANDA mit einer Höhe von 25 Metern fast so hoch in die Luft ragt wie ein veritables Raumfahrzeug, bleibt alles fest am Boden verankert: Bei der turmhohen Anlage handelt es sich um eine Einrichtung zum Test sicherheitsrelevanter Fragen kerntechnischer Anlagen.

PANDA ist die Abkürzung für Passive Nachzerfallwärmeabfuhr und Druckabbau-Testanlage. Die international gefragten Experten des PSI bauen hier Kühlsysteme von in Planung befindlichen, modernen Leichtwasserreaktoren nach, um deren Verhalten bei Störungen zu testen. «Es geht normalerweise um besonders sichere Reaktortypen heutiger sowie zukünftiger Generationen», erläutert Paladino, der junge Ingenieur für Nuklearphysik, der seine Doktorarbeit in Skandinavien machte. Zum Standardszenario gehört beispielsweise der Bruch einer

Hauptdampfleitung. Ohne Gegenmassnahmen droht der Reaktorkern zu heiss zu werden und zu schmelzen. Das Hauptziel der Tests ist der Nachweis, dass die vorgesehenen Gegenmassnahmen den Reaktorkern zu jeder Zeit genügend kühlen, damit keine Überhitzung stattfindet.

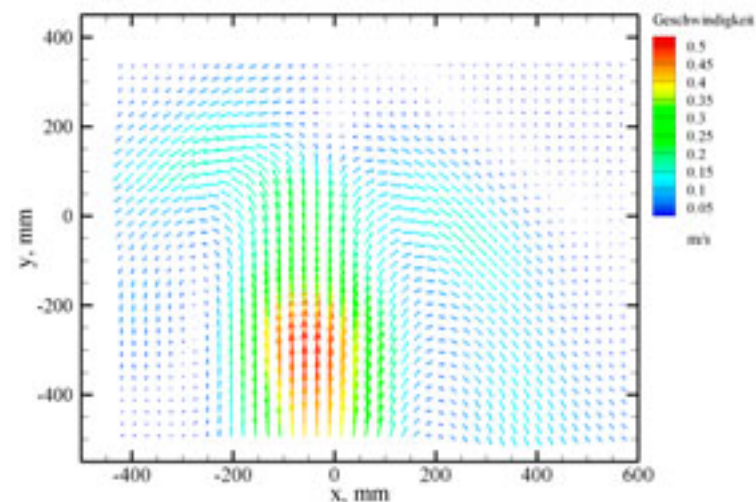
Künstlicher Wasserfall zur Kühlung

«Besonderes Augenmerk legen die Konstrukteure künftiger Anlagen auf umfangreiche passive Sicherheitssysteme», erläutert Paladino. Dazu bedienen sich die Hersteller grundlegender physikalischer Gesetzmässigkeiten, die auch dann funktionieren, wenn alle anderen technischen Einrichtungen versagen. «Schwerkraft!», erklärt der Nuklearingenieur mit italienischem Akzent lakonisch.

Aus diesem Grund befinden sich auf dem Dach von PANDA voluminöse Wassertanks. Sie nehmen bei Bedarf die im gut 25 Meter tiefer gelegenen Heizkessel produzierte Wärme auf und geben sie in die Atmosphäre ab. Ein weiterer Wassertank wird notfalls automatisch in den tiefer gelegenen Heizkessel entleert. «In unseren Versuchen nutzen wir selbstverständlich keine Kernbrennstäbe, sondern elektrisch betriebene Heizstäbe», erklärt Ralf Kapulla, der zusammen mit Paladino am PSI die Sicherheit kerntechnischer Anlagen erforscht. Des-

halb benötigt PANDA beim Betrieb eine Menge Energie: rund 1,5 Megawatt. «Wir müssen unsere Experimente daher oft nachts durchführen», sagt Paladino.

Weil die Versuche aber technisch ausserordentlich aufwendig sind, kommt auch das nicht allzu häufig



Geschwindigkeitsverteilung eines Dampfstrahles, der auf eine Heliumschiicht trifft. Für Strömungsmessungen, die wie hier mit Partikeln durchgeführt werden, ist es notwendig, die Teilchen möglichst gleichmässig zu verteilen. Sie müssen so klein sein, dass sie der Strömung möglichst ohne Verzögerung folgen. Für die Messungen in PANDA wählten die Forscher dafür Olivenöl, das aus Düsen fein versprüht wird. Die Tröpfchen haben einen Durchmesser von 5 bis 15 Mikrometer.

vor. Doch wenn die Anlage startet, muss alles stimmen. «Das ist so ähnlich wie in der Raumfahrt», erklärt Paladino. «Nachträglich kann man nicht einfach noch irgendetwas austauschen oder verändern.» Die Daten von Strömungsgeschwindigkeiten, Verdampfungsraten, Turbulenzen in Rohren oder Temperaturanstieg des Kühlwassers werden von PANDA in zum Teil mehrtägigen Versuchen gesammelt. Sie werden von den internationalen Sicherheitsbehörden, die für die Genehmigung kerntechnischer Anlagen verantwortlich sind, mit Argusaugen begutachtet. Bilden sie doch die Referenzen für die künftigen Hersteller, nach denen Sicherheitsmargen oder konstruktive Erfordernisse ausgelegt werden. «Zudem überprüfen die Betreiber und Sicherheitsbehörden hier die Simulations- und Computerprogramme für ihre Reaktoren», sagt Kapulla. Schliesslich kann man bestehende Anlagen nicht durch riskante Sicherheitstests an ihre technischen Grenzen bringen. Zum einen wäre das zu gefährlich, zum andern sollen die Reaktoren ja Strom produzieren.

Sicherheitsbehörden schätzen die Erfahrung des PSI

Eben dafür ist PANDA gedacht. «Weltweit gibt es für integrale Tests keine vergleichbare Anlage dieser Dimension», sagt Paladino. Daher kommen die Wissenschaftler von nah und fern – aus der Schweiz ebenso wie aus verschiedenen europäischen Ländern, etwa Frankreich, Deutschland oder Finnland, genauso wie aus den Vereinigten Staaten, oder Japan. «Damit die Experten ihre Modelle mit realen Daten verifizieren können, haben wir die gesamte Anlage mit Messfühlern bestückt», fügt Kapulla hinzu. Mit der neusten Einrichtung lassen sich über Laserlicht die Geschwindigkeit von Strömungen und Turbulenzen in einem Druckkessel auf Antrieb zweidimensional erfassen. «Das Licht wird an kleinsten Schwe-



Domenico Paladino prüft die Einspritzvorrichtung für das Olivenöl, mit dem sich die Strömungen und Turbulenzen des Kühlwassers in PANDA aufzeigen lassen.

beteilchen, die wir dem Wasser hinzufügen, reflektiert», erläutert der Physiker. «Wir haben lange nach einer geeigneten Substanz gesucht, die wir dem Wasser zugeben können», meint Paladino. Sie durfte nicht zu schwer sein, damit sie die Messungen nicht verfälscht, aber sie musste auch die harschen Bedingungen in den Versuchsbehältern unbeschadet überstehen. «Schliesslich fanden wir das richtige Material», verrät der Experimentator mit einem verschmitzten Lächeln: «Kaltgepresstes

Olivenöl!» Die vielen erfolgreich durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass dies eine exzellente Wahl war.

Originalveröffentlichung:

A PANDA Integral Test on the Effect of Light Gas on a Passive Containment Cooling System (PCCS); D. Paladino, O. Auban, M. Huggenberger, J. Dreier; The 13th International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics (NURETH-13), Kanazawa City, Ishikawa Prefecture, Japan, September 27–October 2, 2009 (selected for the special issue of Nuclear Engineering and Design journal devoted to NURETH-13).

Wenn Schnabeltiere Fieber haben

Flexibilität roter Blutkörperchen steigt spontan mit der Körpertemperatur

Blut ist dicker als Wasser, weiss der Volksmund. Kein Wunder: Besteht der rote Lebenssaft doch zu knapp 30 % aus festeren Bestandteilen – aus Hormonen, Eiweissen, Salzen, Zuckern sowie Stoffwechselprodukten. Doch spielt Wasser bei allen Lebensvorgängen im wahrsten Sinne des Wortes eine vitale Rolle, besteht der Mensch doch zu über zwei Dritteln aus dieser chemischen Verbindung von einem Sauerstoff- mit zwei Wasserstoffatomen.

«Oft umschliesst ein Wasserfilm lebensnotwendige Proteine», erklärt Jan Peter Embs von der Universität Saarbrücken. Sein Lehrstuhl betreibt seit Jahren, zusam-

men mit dem PSI in Villigen, die Neutronenmesseinrichtung FOCUS. Damit untersucht der Physiker gemeinsam mit seinem Kollegen Andreas Stadler vom deutschen Forschungszentrum Jülich das Blut verschiedener Wirbeltiere. Sie interessieren sich insbesondere für die Dynamik der Blutzellen und den darin enthaltenen roten Blutkörperchen auf molekularer Ebene. Diese Bestandteile der Körperflüssigkeit verteilen bei allen höheren Organismen den lebensnotwendigen Sauerstoff im Körper. Ihr eisenhaltiger roter Blutfarbstoff, das Hämoglobin, ist für seine Flexibilität bekannt. Die Blutzellen quetschen sich durch feinste Äderchen, beispielsweise

durch die Kapillaren der Lunge, um dort Sauerstoff aufzunehmen und ihn bis in die hinterste Ecke des Organismus zu transportieren.

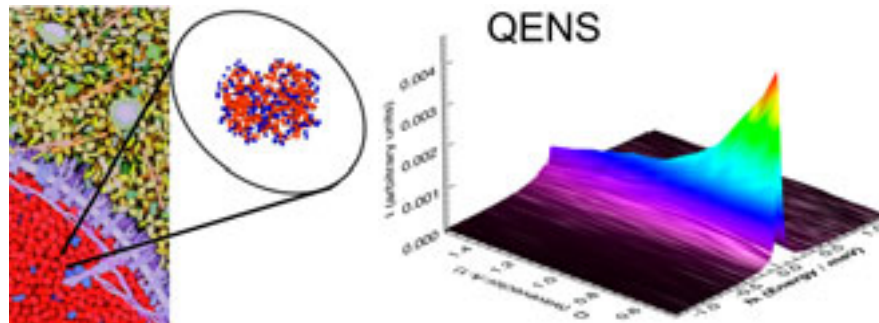
Fieber bringt Blut in Wallung

«Wir haben herausgefunden, dass die Zellen zwei Arten von Wasser enthalten», erläutert der Saarländer, der mittlerweile permanenter

Gast am PSI ist. Der grösste Teil – rund 90 % – verhält sich ganz normal, aber etwa 10 % bewegen sich deutlich langsamer. Dieses schwerfällige Nass scheint das Hämoglobin zu umhüllen. «Die stark gefalteten Moleküle des Blutfarbstoffs bieten eine riesige Oberfläche», erläutert der Physiker. «Da kann überall Wasser hineinschlüpfen.» Doch wird dessen Dynamik dadurch mehr als vierzigmal geringer. Dieser Wert hängt stark von der Temperatur der Zellen ab. «Bei einer Wärme, bei der man typischerweise Fieber bekommt, scheint das Hämoglobin deutlich beweglicher zu werden», resümiert Embs.

Fieber ist keine Krankheit. Es ist vielmehr die Antwort des Organismus auf eine Infektion: Der Kreislauf arbeitet dabei auf Hochtouren, um die Zellen mit Sauerstoff und den nötigen Abwehrstoffen für den Kampf gegen den Infekt zu versorgen und gleichzeitig getötete Viren oder Bakterien rasch zu entsorgen. Das fördert die Genesung. Bei nahezu jedem Lebewesen kommen ähnliche Reaktionen vor: Selbst bei Reptilien, Fischen oder gar Insekten kann sich die Körpertemperatur bei Infekten spürbar erhöhen. «Wir haben bereits das Blut von Menschen, Vögeln, Krokodilen und sogar Schnabeltieren untersucht und bei allen das gleiche Phänomen beobachtet», erzählt der saarländische Forscher.

Jede Spezies hat eine für sie kritische Temperatur, ab der ihre empfindlichen Proteine beginnen, sich zu verändern: Sie denaturieren wie der Experte sagt. Dadurch verlieren sie oft ihre lebenswichtigen Funktionen. Das



Darstellung einer Blutzelle mit einem vergrösserten Hämoglobin-Molekül. Die blauen Punkte in der Hämoglobin-Struktur sind eingebettete Wassermoleküle. Daneben ein typisches Neutronenstreubild. Nach oben aufgetragen ist die Intensität in Abhängigkeit vom Energieübertrag und Streuvektor Q . Die Breite des blau-violetten Bereichs sowie der Verlauf des Maximums (rote Spitze) verraten den Wissenschaftlern etwas über die Dynamik des Hämoglobins in der Zelle. (QENS steht für quasi-elastische Neutronenstreuung.)



Wie mit Billardkugeln beschossen die Experimentatoren um Jan Peter Embs (im Bild) und Andreas Stadler die roten Blutkörperchen verschiedener Lebewesen mit Neutronen. Aus den Rückstössen lässt sich schliessen, dass es in den Blutzellen zwei verschiedene «Arten» von Wasser gibt, die sich deutlich in ihrer Dynamik unterscheiden.

gilt ebenso für das Hämoglobin. Beim Menschen sollte daher ein Fieber von über 40 Grad Celsius behandelt werden, selbst wenn sich dadurch der Krankheitsverlauf eventuell verlängert.

Blut und Wasser bilden eine funktionelle Einheit

Mit kalten – also langsamen – Neutronen, die mit dem Hämoglobin zusammenstossen, haben Embs und Stadler sich die Beweglichkeit der Protonen angesehen, die im Wasser der Zellen enthalten sind. Um unterscheiden zu können, ob die positiv geladenen Kernbausteine tatsächlich von dort stammen und nicht etwa aus den Membranen oder dem Hämoglobin, wurde der normale Wasserstoff im Wasser gezielt durch Deuterium ersetzt. Dieser «schwere Bruder» des leichtesten aller chemischen Elemente enthält in seinem Atomkern statt einem einzigen Proton zusätzlich ein Neutron. Das sogenannte schwere Wasser reagiert deswegen auf Neutronenbeschuss messbar anders.

Die Teilchen erhielt das Team aus der Spallationsquelle SINQ des PSI. Dort dampfen hoch energetische Protonen Neutronen aus Atomkernen heraus. Mithilfe von Monochromatoren – speziell geschliffenen Spiegeln aus Graphit oder Glimmer – selektieren die Experimentatoren daraus die Partikel gewünschter Energie. «Dazu müssen wir aber den gesamten tonnenschweren Detektor auf Luftkissen um Tausendstel von einem Grad genau positionieren», verrät der Saarländer.

Die elektrisch neutralen Teilchen prallen dann mit den präparierten Wassermolekülen der Probe zusammen. Die Stösse dauerten oft nur wenige billionstel Sekunden, wobei sie das Ziel nur um einige hundert billionstel Meter auslenkten. Die Ergebnisse sprechen eine eindeutige Sprache: «Das Wasser scheint die Flexibilität des Hämoglobins in den roten Blutkörperchen bei erhöhter Temperatur zu unterstützen», sagt Embs. Wie genau der Effekt zustande kommt, ist noch nicht endgültig geklärt. «Da ist noch einiges an Forschung notwendig», meint der PSI-Dauergast. Mit weiteren Neutronenuntersuchungen sowie eventuell auch mit dem Synchrotronlicht aus dem geplanten Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL, der in ein paar Jahren in Villigen in Betrieb gehen wird, wollen er und seine Kollegen dieser Frage nachgehen. Eines ist zumindest sicher: Selbst so alltägliche Substanzen wie das Blut in unseren Adern bergen noch immer viele Geheimnisse.

Originalveröffentlichung:

From Powder to Solution: *Hydration Dependence of Human Hemoglobin Dynamics Correlated to Body Temperature*; A.M. Stadler, I. Digel, J.P. Embs, T. Unruh, M. Tehei, G. Zaccai, G. Büldt und G.M. Artmann; *Biophysical Journal* **96**, 5073-5081 (2009). doi:10.1016/j.bpj.2009.03.043.

Virtuelle Schnitte durch keltische Münzen

Neutronen-Mikrotomografie gewährt Einblick ins Innere eisenzeitlicher Münzen

Ob alte Münzen, kostbare Statuen oder andere archäologische Funde – die Analyse birgt oft ein Problem: Wollte man nämlich diese wertvollen Fundstücke sehr genau untersuchen, müsste man sie zerschneiden oder ein Stück davon zum Beispiel in Säure auflösen und chemisch analysieren. Der Nachteil ist offensichtlich: Zwar hätte man eine Erkenntnis zur Zusammensetzung dieser Gegenstände gewonnen, doch wären diese nach der Analyse beschädigt oder gar zerstört. Hoch moderne Anlagen am Paul Scherrer Institut erlauben es, mithilfe von Neutronen ins Innere der Materialien zu schauen, ohne deren Struktur zu zerstören.

Eberhard Lehmann, Leiter der Gruppe Neutronenradiografie und Aktivierung, arbeitet seit einem Jahr mit einer Gruppe von Naturwissenschaftlern und Archäo-

logen zusammen, um am PSI die Herstellung von keltischen Münzen zu erforschen.

Während die Herstellung griechischer oder römischer Münzen ziemlich gut bekannt ist, liegt die keltische Herstellungsmethode von Münzen noch weitgehend im Dunkeln. Bei der Forschungsarbeit sollen die einzelnen Arbeitsschritte bei der Fabrikation und die dabei verwendeten Technologien für die Versilberung der «unedlen» Kerne genau analysiert werden.

Zerstörungsfreie Analyse von 21 keltischen Münzen

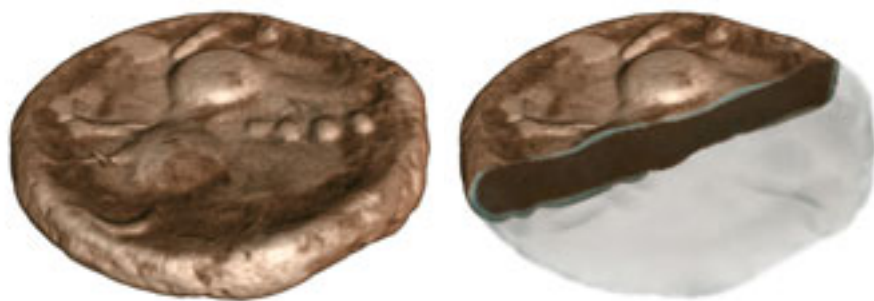
Bisher wurden 21 keltische Münzen der jüngeren Eisenzeit (ca. 450–15 v. Chr.) zerstörungsfrei mit dem an der PSI-Strahllinie ICON etablierten Verfahren der Mikrotomografie mit Neutronen analysiert. Die Neutronentomografie ist ein Verfahren, bei dem einzelne Durchstrahlungsbilder (Radiografien) in einen dreidimensionalen Datensatz umgerechnet werden. Dabei zeigte sich, dass die Münzen aus einem Kupferkern und einer dünnen Silberhülle bestehen. Die Münzen weisen zwar

einen Durchmesser von nur etwa 10 Millimetern auf, trotzdem ist eine Untersuchung mit Röntgenstrahlung in dieser Qualität bei der Kombination von Kupfer und Silber kaum möglich. Eberhard Lehmann erklärt den Vorteil der Neutronentomografie: «Mithilfe von mathematischen Bearbeitungswerkzeugen können wir virtuelle Schnitte an beliebigen Stellen innerhalb der Münzen erzeugen, die Silberschicht vermessen und den Materialgehalt ermitteln – dies alles, ohne den Münzen den geringsten Schaden zuzufügen.»

Mit dieser Methode konnte nun eine einzigartige Datenbasis für 21 Münzen erstellt werden, die Quervergleiche und Typisierungen ermöglicht. In einem weiteren Schritt sollen Münzen mit den handwerklichen Techniken der Münzmaker vor 2500 Jahren hergestellt werden. Diese experimentell angefertigten Münzen werden anschliessend mit der Neutronentomografie untersucht. Sind sie in ihrem inneren Aufbau identisch mit den Originalmünzen, bedeutet dies, dass das Geheimnis der keltischen Münzproduktion aufgedeckt ist.

Wie stellten die Kelten ihre Münzen her?

Wenige Kilometer unterhalb des Rheinfalls umfließt der Rhein in einer natürlichen Doppelschleufe die beiden Halbinseln «Au» (Rheinau, CH) und «Schwabens» (Altenburg, DE). Ab der zweiten Hälfte des 2. Jh. v. Chr. entwickelte sich zuerst auf der Halbinsel «Schwabens», später auch auf der Halbinsel «Au» eine bedeutende



Ansicht einer Münze als tomografische Übersicht: Virtuelle Schnitte ermöglichen die genaue Analyse der äusseren Silberschicht und der Zusammensetzung des Kupferkerns

Interdisziplinäres Arbeiten mit Archäologen. Bei der Untersuchung von Münzen aus der jüngeren Eisenzeit arbeitete das PSI mit mehreren Institutionen zusammen: Verein für experimentelle Archäologie «ExperimentA» Zürich, Kantonsarchäologie Zürich, Münzkabinett Winterthur, Schweizerisches Nationalmuseum Zürich, Inventar der Fundmünzen Schweiz Bern und Universität Zürich.

Bei Ausgrabungen in Rheinau kamen Münzen und Fragmente von Tüpfelplatten aus Ton ans Tageslicht, die zur Herstellung von Münz-Rohlingen aus Edel- und Buntmetall verwendet wurden.

Die Neutronentomografie gibt Aufschluss über die innere Struktur und die Silberschicht der Münzen und zeigt, dass diese den teils leicht porösen Bronzekern nahtlos umgibt. Ziel des interdisziplinären Projektes ist es, die Herstellung dieser Münzen detailliert zu untersuchen und die verwendeten Herstellungstechniken genau zu rekonstruieren. Von besonderem Interesse ist das Verhalten der Tüpfelplatten beim Aufschmelzen verschiedener Legierungen sowie die Versilberungstechniken der keltischen Münzen. Bisher gibt es darüber nur theoretische Ansätze und noch keinen praktischen Nachweis.

Siedlung. Während rund 100 Jahren bildeten sie einen wichtigen Verkehrsknotenpunkt und ein Handelszentrum. Damals waren in diesem Gebiet die zur Stammesgruppe der Kelten gehörenden Helvetier ansässig. Grabungen der vergangenen Jahrzehnte und kürzlich durchgeführte Prospektionen förderten bis heute einige hundert keltische Münzen und zahlreiche Fragmente von Tüpfelplatten ans Tageslicht. In die Vertiefungen dieser waffelartigen, tönernen Platten füllten die Kelten Metall. Damit erhielten sie die vorgegebene Masse der Münz-Rohlinge, die dann in einem Feuer mit Luftzufuhr durch Blasebälge eingeschmolzen wurden. Die so entstandenen linsenförmigen Rohlinge wurden anschließend versilbert. Danach prägten die Kelten die Rohlinge mithilfe einer Unterlage und eines Stempels, in denen die Vorder- und Rückseite des Münzbildes spiegelverkehrt eingraviert war.

Die Vermutung liegt nahe, dass zumindest ein Teil der gefundenen Münzen in Werkstätten vor Ort angefertigt wurde. Eberhard Lehmann fasst zusammen: «Die genauen Analysen des PSI werden mithelfen, das Geheimnis der Herstellung dieser keltischen Münzen zu lüften.»



Stefan Hartmann, Ingenieur bei Eberhard Lehmann, richtet ein Tomografie-Experiment ein, das an der ICON-Anlage für Neutronenimaging mit höchster Auflösung durchgeführt wird.

Den Lebensnerv des Tumors treffen

Neuer Therapieansatz zur Bekämpfung von Krebs

Blutgefässe gehören zu den am frühesten angelegten Organsystemen des Embryos. Sie gewährleisten die Versorgung des Organismus mit Sauerstoff und Nahrung. Lymphgefässe hingegen sind für den Abtransport von Abbauprodukten aus den Zellen zuständig. So sind beide Gefässarten für das Funktionieren aller Organe im Körper notwendig.

Auch Tumoren brauchen Blut- und Lymphgefässe um wachsen zu können. Wissenschaftler beobachten schon seit Langem bei Krebserkrankungen, aber auch bei vielen anderen Krankheiten, eine erhöhte Produktion von Substanzen – Wachstumsfaktoren – die die Gefässbildung anregen. Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) ist der englische Name eines dieser Faktoren. So ist auch VEGF für die wichtigste Ursache von Blindheit bei älteren Menschen in der westlichen Welt verantwortlich: die Makuladegeneration. Hier produziert der Patient im Auge zu viel VEGF. Die dadurch verstärkte Bildung von Blutgefässen führt zur langsamen Zerstörung des Sehnervs und zur Erblindung. Kurt Ballmer-Hofer, Gruppenleiter für molekulare Zellbiologie am Paul Scherrer Institut, erforscht den molekularen Mechanismus der Aktivierung von VEGF-Rezeptoren in der Zellmembran, der Aussenhaut der Zelle. Durch Andocken der VEGF-Moleküle an diese Rezeptoren werden der Zelle die Signale mitgeteilt, die den Anstoss zur Neubildung von Gefässen geben.

Ballmer-Hofer weiss: «Tumoren wachsen zu Beginn der Erkrankung ohne Blutversorgung und ohne Lymph-

gefässe. Sie sind dann nur wenige Millimeter gross.» Damit ein Tumor weiterwachsen kann, muss er von Blut- und Lymphgefässen durchdrungen sein, die ihn mit Nährstoffen und Sauerstoff versorgen sowie Abfallstoffe abtransportieren. Bösartige Tumoren, die sich ins umliegende Gewebe ausbreiten oder in entfernt liegenden Organen Tochtergeschwülste, Metastasen, bilden, müssen deshalb früher oder später VEGF herstellen und freisetzen, um die Bildung neuer Gefässe anzuregen. Die sich neu bildenden Gefässe dringen in das Tumorgewebe ein und versorgen den Tumor mit den benötigten Stoffen.

Das Wachstum von Tumoren hemmen

Mit einer Blockade der VEGF-Produktion durch Neutralisieren des VEGF oder Blockieren der VEGF-Rezeptoren können Ärzte das übermässige Wachstum der Gefässe verhindern. So zielt eine neue, indirekte Tumorbekämpfung darauf ab, das Wachstum der Endothelzellen, die die Blut- und Lymphgefässe auskleiden, zu blockieren beziehungsweise die sich neu bildenden Gefässe im Tumor selektiv abzutöten.

Gleichzeitig werden neue Wege gesucht um zu verhindern, dass die Information über das angedockte VEGF in die Zelle weitergegeben wird. Dabei wird der molekulare Mechanismus untersucht, der bei der Übertragung der vom VEGF-Rezeptor ausgesandten Signale in den Endothelzellen aktiv ist. Es werden also die Signal-

wege in der Zelle identifiziert, die durch die Bindung des VEGF an seine Rezeptoren aktiviert werden.

Einblick in die Molekülstruktur

Ein Durchbruch in dieser Forschung ist Kurt Ballmer-Hofer und seinem Team mit der Analyse der detaillierten



Struktur der Bindungsstelle zwischen VEGF-Molekül und Rezeptor. Das komplexe Molekül besteht aus Tausenden von Atomen. Die Auflösung ist so hoch, dass man die einzelnen Seitenketten der Aminosäuren, aus denen die Proteine aufgebaut sind, erkennen kann.



Andrea Prota (l.) und Kaisa Kisko (r.) betrachten mit 3-D-Brillen die Proteinstruktur.

Struktur desjenigen Teils eines VEGF-Rezeptors gelungen, der aus der Zelle herausragt. Die Struktur des Rezeptors konnte nach seiner Bindung an VEGF bestimmt werden. Ballmer-Hofer, der auch an der Universität Basel als Titularprofessor lehrt, erklärt seine Forschungen: «Vor zwei Jahren konnten diese Rezeptormoleküle bereits mit dem Elektronenmikroskop abgebildet werden. In der neuen Arbeit am PSI ist es uns in Zusammenarbeit mit einer finnischen Gruppe gelungen, eine Darstellung der Struktur mittels der Röntgenkristallografie mit einer

ki die Grundlage geschaffen werden, diese Moleküle in grossen Mengen und in reiner Form herstellen zu können. Anschliessend wurde das Material kristallisiert: Die Moleküle wurden dazu gebracht, sich in einer regelmässigen Form anzuordnen. «Erst mit der Herstellung grosser Mengen reinsten Materials war es möglich, Kristalle herzustellen und dann die komplexe räumliche Struktur der Rezeptorkomplexe mithilfe der Röntgenkristallografie zu bestimmen», erläutert Kurt Ballmer-Hofer den Knackpunkt des ganzen Projekts.

Auflösung von 0,27 Milliardstel Meter zu erreichen. Bei dieser Auflösung wird bereits die Distanz zwischen zwei verbundenen Kohlenstoffatomen sichtbar.»

Die hoch aufgelöste Struktur konnte errechnet werden, nachdem die Moleküle an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI untersucht worden waren. Dieser Teilchenbeschleuniger erzeugt eine besonders intensive Röntgenstrahlung, die es ermöglicht, in Kombination mit einem aufwendigen Rechenverfahren die Struktur komplexer Biomoleküle zu bestimmen.

Zuerst musste jedoch am PSI und am Biomedicum in Helsinki

Neuer Therapieansatz

Bei den heutigen Krebstherapien werden bereits Antikörper gegen VEGF eingesetzt, die das Molekül «neutralisieren» und es daran hindern, sich an den Rezeptor zu binden. Bei dieser Therapie bindet sich ein Antikörper anstelle des Rezeptors an die Rezeptorbindungsstelle des VEGF und verhindert so die Aktivierung des Rezeptors. Für neuere Therapieansätze sollen Wirkstoffe entwickelt werden, die diese Rezeptoren noch gezielter blockieren. Dazu ist es wichtig, die genaue dreidimensionale Struktur der Rezeptoren zu kennen. Das ist das Forschungsziel der Gruppe am PSI, dem sie mit ihrem Ergebnis nun einen Schritt näher gekommen ist.

Eine praktische Anwendung dieser Resultate durch allfällige Interessenten aus der Pharmaindustrie bestünde darin, Medikamente herzustellen, die das Wachstum der Gefässe unterbinden und damit beispielsweise die aggressive Ausbreitung eines Tumors hemmen. Nach diesem Konzept wurde bereits ein vielversprechender Therapieansatz entwickelt, der bei der Behandlung degenerativer Augenerkrankungen und der Bekämpfung von Tumoren angewendet wird. Der Vorteil dieser Therapie liegt darin, dass sie auf alle Arten von Tumoren angewendet werden kann. Denn letztlich sind alle Krebsarten, obwohl sie sich in den grundlegenden molekularen Veränderungen stark unterscheiden, auf Blut- und Lymphgefässe angewiesen.

Originalveröffentlichung:

Structural determinants of growth factor binding and specificity by VEGF receptor 2; Veli-Matti Leppänen, Andrea E. Prota, Michael Jeltsch, Andrey Anisimov, Nisse Kalkkinen, Tomas Strandin, Hilka Lankinen, Adrian Goldman, Kurt Ballmer-Hofer, and Kari Alitalo; PNAS February 9, 2010 **107** no. 6 2425-2430; Published online before print January 22, 2010.

Der Luftverschmutzung auf der Spur

Wie Feinstaub erst in der Luft entsteht

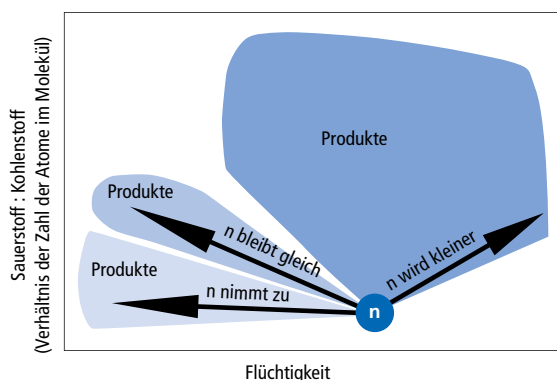
«Feinstaub macht krank und Feinstaub beeinflusst das Klima.» In einfachen Worten erklärt Urs Baltensperger, warum es sinnvoll ist, sich mit Feinstaub zu beschäftigen. Das Ziel lautet: Feinstaub reduzieren. Seit Jahren forscht er daran, den Ursprung des Feinstaubes in der Luft zu bestimmen. Ein Ergebnis der letzten Jahre: Bei Weitem nicht aller Feinstaub entsteht unmittelbar bei der Verbrennung, etwa bei der Holzfeuerung oder im Dieselmotor. Viele Feinstaubpartikel entstehen erst in der Luft. Denn die Moleküle von Substanzen in der Luft, die aus verschiedensten Quellen stammen können – aus Autoabgasen genauso wie aus den Ausdünstungen der Wälder – sind dauernd dabei, sich zu verändern: Grosse Moleküle zerfallen in kleinere Stücke, kleine Moleküle lagern sich an Feinstaubteilchen an und lassen sie auf diese Weise wachsen. Und das unter Umständen weit weg von den Quellen der Moleküle – sodass man fast in allen Weltgegenden gleichartigen Feinstaub findet.

Um zu bestimmen, wie Feinstaub in der Luft entsteht, haben sich die PSI-Forschenden mit Kollegen von 30 weiteren Forschungseinrichtungen zusammengetan und an rund 30 Orten auf der Nordhalbkugel mit einem neuartigen Massenspektrometer die Zusammensetzung der Feinstaubpartikel untersucht – in Grossstädten genauso wie auf entlegenen Inseln. Das PSI-Team hat sich für seine Messungen zwei sehr verschiedene Orte in der Schweiz ausgesucht: die Zürcher Innenstadt und das Jungfraujoch. Dabei haben sich die Forschenden auf die organischen Bestandteile der Feinstaubpartikel kon-

zentriert – Substanzen, die Kohlenstoff enthalten und ursprünglich aus belebter Materie stammen.

Komplexe Vorgänge aufs Wesentliche reduziert

Es stellte sich als unmöglich heraus, jede einzelne organische Substanz in den Feinstaubteilchen zu identifizieren. Es gibt einfach zu viele verschiedene Substanzen, die darin vorkommen könnten, Tausende, die sich zum Teil nur in Details der Zusammensetzung unterscheiden. Das ist aber nicht wirklich schlimm: Die PSI-Forschenden



Das Diagramm zeigt, wie sich die beiden wesentlichen Eigenschaften eines organischen Moleküls in der Atmosphäre verändern können, wenn das Molekül sich mit anderen verbindet oder in kleinere zerfällt – Flüchtigkeit (Mass dafür, wie leicht eine Substanz verdampft) und das Verhältnis von Kohlenstoff- zu Sauerstoffgehalt. n = Zahl der Kohlenstoffatome im Molekül.

konnten zeigen, dass man nur wenige Eigenschaften der Substanzen kennen muss um zu verstehen, wie sie wirken: «Zum Beispiel ist das Verhältnis von Sauerstoff- zu Kohlenstoffgehalt in einer Substanz wesentlich dafür, ob diese Wasser aufnimmt und die Feinstaubkörnchen somit Keime für die Wolkenbildung sein können», erklärt André Prévôt, der das Projekt federführend am Paul Scherrer Institut betreut.

Je mehr Teilchen da sind und je besser sie Wasser aufnehmen, umso dichter werden die Wolken. Und umso schlechter erreicht das Sonnenlicht den Erdboden, umso weniger heizt sich die Atmosphäre auf. So kann der Feinstaub indirekt der Klimaerwärmung entgegenwirken. «Es würde aber nicht gegen die Klimaerwärmung helfen, immer mehr Feinstaub zu produzieren. Dazu ist die Lebensdauer des Feinstaubes in der Atmosphäre zu kurz, und die CO_2 -Emissionen nehmen zu schnell zu, sodass man höchstens eine Verzögerung der Erwärmung erreichen würde», sagt Prévôt und dämpft damit eventuelle Hoffnungen. Die gesundheitlichen Belastungen durch den Feinstaub sind Grund genug, die Feinstaubmenge in der Luft zu reduzieren.

Woher kommt der Feinstaub?

Die Forschenden wollten nicht nur wissen, wie der Feinstaub in der Luft zusammengesetzt ist, sondern auch, woher er kommt. Und das in doppeltem Sinne: Welche Substanzen waren die Vorläufer des organischen Mate-

rials im Feinstaub und woher stammten diese Vorläufer: aus dem Autoauspuff oder etwa aus dem Wald? Um die Ursprungsubstanzen zu bestimmen, nutzten die Forschenden die Smogkammer des Paul Scherrer Instituts. Hier können sie Aspekte der Bedingungen in der Atmosphäre nachahmen – zum Beispiel verfolgen, wie sich eine Substanz verändert, wenn man sie mit künstlichem Sonnenschein bestrahlt. Weiss man für verschiedene Stoffe, wie sie sich mit der Zeit verändern und kennt man die Substanzen im Feinstaub, kann man berechnen, aus welchen Stoffen der Feinstaub entstanden ist.

Damit weiss man noch nicht, aus welcher Quelle die Ausgangsstoffe kamen. Hier hilft ein Verfahren, das sonst vor allem Archäologen nutzen, um das Alter von Ausgrabungen zu bestimmen: die C14-Methode. Dabei wird bestimmt, wie viel des radioaktiven Isotops Kohlenstoff-14 (C14) organische Moleküle enthalten. Ist es viel, stammt das Molekül vermutlich aus dem Wald oder aus einer Holzfeuerung, enthält es so gut wie keines, stammt es wohl aus fossilen Abgasen.

Auf längere Sicht wird diese Forschung helfen, die Feinstaubmenge zu reduzieren. Für den, der jetzt schon etwas gegen den Feinstaub tun möchte, hat Prévôt aber auch einen praktischen Rat: «Bei Inversionswetterlagen im Winter ist es besser, einen Pullover anzuziehen als das Cheminée anzuzünden, weil bei diesen Bedingungen die Emissionen aus der Holzverbrennung stark zur Feinstaubbelastung in der Aussenluft beitragen.»

Originalveröffentlichung:

Evolution of Organic Aerosols in the Atmosphere; J.L. Jimenez, A.S.H. Prevot, P.F. DeCarlo, V.A. Lanz, U. Baltensperger et al.; *Science* **326**, 1525-1529 (2009).

Feinstaub. Feinstaub besteht aus winzigen Partikeln, die kleiner sind als 10 Tausendstelmillimeter (10 μm), wobei die Teilchen oftmals noch viel kleiner sind. Je kleiner sie sind, umso gefährlicher sind sie für die menschliche Gesundheit, weil kleine Partikel besonders leicht in die Lunge gelangen und von dort aus verschiedene Krankheiten auslösen können.



PSI-Forscher Urs Baltensperger (links) und André Prévôt in der Smogkammer des PSI, in der Vorgänge in der Atmosphäre simuliert werden.

Beschleunigerabfall erlaubt Blick ins junge Sonnensystem

Halbwertszeit eines für die Planetenentstehung wichtigen Eisenisotops neu bestimmt

Mehr als 10 Jahre erfüllte der rund 30 Zentimeter lange Kupferzylinder eine einfache, aber wichtige Aufgabe: Er fing an einer medizinischen Bestrahlungsanlage des PSI überschüssige schnelle Protonen ab. Als die Anlage 1992 stillgelegt wurde, sollte der Strahlstopper als radioaktiver Abfall entsorgt werden. Doch Dorothea Schumann vom PSI-Labor für Radio- und Umweltchemie, die das Kupferstück untersuchte, meinte, er sei zum Entsorgen viel zu schade. Denn durch den Protonenbeschuss waren im Kupfer neue Isotope entstanden, die versprochen, für Forschung und Medizin interessant zu sein. «Ich bin zu Tagungen gefahren und habe erzählt, welche Isotope wir haben», berichtet die Forscherin. Das Interesse war so gross, dass ein Projekt daraus entstanden ist, das die Zusammenarbeit zwischen den «Herstellern» der Isotopen am PSI und den Anwendern aus verschiedenen Wissenschaftszweigen koordiniert: ERAWAST oder Exotic Radionuclides from Accelerator Waste for Science and Technology (Exotische Radionuklide aus Beschleunigerabfall für Wissenschaft und Technologie).

Die Vergangenheit des Sonnensystems

Bei Astrophysikern stiess das radioaktive Eisenisotop mit der Masse 60 auf besonders grosses Interesse. Eisen-60 war vor mehreren Milliarden Jahren reichlich in den entstehenden Planeten unseres Sonnensystems vorhanden:

Ein explodierender Riesenstern – eine Supernova – hatte es ins Weltall geschleudert. Ein Teil davon erreichte auch unser junges Sonnensystem und wurde Bestandteil der Planeten, die sich gerade bildeten. Als radioaktive Substanz erzeugte das Eisen-60 beim Zerfall Wärme und sorgte zusammen mit anderen Radionukliden dafür, dass die Planeten flüssig blieben – es bestimmte also deren Entwicklung wesentlich mit. Um die Evolution der jungen Planeten zu verstehen, ist es entscheidend, die Zerfallsgeschwindigkeit von Eisen-60 zu kennen. Doch bislang gab es kaum Möglichkeiten, diese Geschwindigkeit zu bestimmen, weil das Eisen-60 in der Zwischenzeit auf der Erde vollständig zerfallen ist. Die kleinsten Mengen, die man noch findet, können von Eisenmeteoriten oder einer nahen Sternexplosion vor mehreren Jahrtausenden stammen und reichen für eine Untersuchung nicht aus.

Die Halbwertszeit

Wenn man genug von einem radioaktiven Stoff hat, ist es im Prinzip einfach, die Zerfallsgeschwindigkeit zu messen, wobei Forschende von der Halbwertszeit sprechen – der Zeit, in der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome zerfallen ist. Für die Messung muss man nur eine Zeit lang die Zahl der Zerfälle, also die Aktivität, messen und wissen, wie viele Atome des untersuchten Isotops

man am Anfang hatte. Daraus kann man die Halbwertszeit berechnen. Der Teufel steckte aber wie üblich im Detail. Zunächst mussten die Forschenden um Dorothea Schumann im Chemielabor das Eisen aus dem Kupfer



Der Krebsnebel – Überrest einer Supernova-Explosion. Aus einer ähnlichen Explosion vor Jahrtausenden stammte das Eisen-60, das die Entwicklung unseres Sonnensystems beeinflusst hat. Der Krebsnebel ist 11 Lichtjahre lang. Quelle: NASA, ESA, J. Hester and A. Loll (Arizona State University).



Niko Kivel (vorne) und Michael Wohlmuther diskutieren im Hotlabor die Messresultate. Kivel hat für die Untersuchungen des Eisen-60 die Messungen am Massenspektrometer durchgeführt, Wohlmuther hat die theoretischen Voraussagen zur Produktion des Eisenisotops im Strahlstopper gemacht.

abtrennen: 1 Mikrogramm (millionstel Gramm) Eisen-60 aus 10 Kilogramm Kupfer. Die so gewonnene Eisenprobe ging dann – in Salzsäure aufgelöst – zunächst ins Labor von Gunther Korschinek an der Technischen Universität München, wo fünf Jahre lang die Strahlung von Kobalt-60, ein Zerfallsprodukt von Eisen-60, gemessen wurde. So konnte man indirekt die Aktivität des Eisens ausrechnen. Die Strahlung von Eisen-60 kann man nicht direkt messen.

Um aus der Aktivität die Halbwertszeit errechnen zu können, musste man ausserdem wissen, wie viele Atome Eisen-60 insgesamt in der Probe enthalten waren. Dies wurde mit einem Massenspektrometer im PSI-Hotlabor bestimmt. «Das Massenspektrometer trennt die Atome aus der Probe nach ihrer Masse, sodass man ermitteln

Isotope: Das Eisenisotop Eisen-60 hat im Atomkern 26 Protonen und 34 Neutronen, also insgesamt 60 Teilchen. Andere Eisenisotope haben auch 26 Protonen, aber eine andere Anzahl Neutronen: Zum Beispiel hat das häufigste Eisenisotop, Eisen-56, 26 Protonen und 30 Neutronen. Eisen-60 zerfällt in Kobalt-60, wobei sich ein Neutron in ein Proton umwandelt, indem es ein Elektron (und ein Neutrino) aussendet. Kobalt-60 zerfällt auf gleiche Weise in Nickel-60, das stabil ist und nicht weiter zerfällt.

kann, wie gross der Anteil von Eisen-60 unter allen Eisenatomen ist», erklärt Ines Günther-Leopold, in deren Arbeitsgruppe das Gerät betrieben wird. Die Tücke hier: Die Probe enthielt noch Nickel-60, dessen Atome die gleiche Masse haben wie die des radioaktiven Eisens. Entfernen liess sich das Nickel nicht, aber mit weiteren chemischen Prozeduren konnten die Forschenden dafür sorgen, dass der Anteil dieses Nickelisotops genau bekannt war.

Halbwertszeit von Eisen-60: 2,6 Millionen Jahre

Das Ergebnis dieser Kleinarbeit ist eine Zahl: 2,6 Millionen Jahre für die Halbwertszeit von Eisen-60 – deutlich mehr als der bis dahin genaueste Wert von 1,5 Millionen Jahren. «Diese Differenz bedeutet, dass wir unser Bild von der Entstehung des Sonnensystems zum Teil revidieren müssen. Und auch unsere Vorstellungen von den Vorgängen im Inneren von Sternen werden wir neu überdenken», betont Gunther Korschinek, der sich vor allem mit der astrophysikalischen Seite der Untersuchung beschäftigt. Doch um die Rolle von Eisen-60 im Sterninneren zu verstehen, reicht es nicht, die Halbwertszeit zu kennen. Denn nicht alle Atome von Eisen-60 zerfallen im Sterninneren, manche fangen auch eines der reichlich verfügbaren Neutronen ein und verwandeln sich so in Eisen-61, was zu einem grösseren Anteil an stabilem Ni-

ckel-61 führt. Wie wahrscheinlich das ist, beschreibt der Neutronen-Einfangquerschnitt, den man auch mit dem Eisen-60 aus dem PSI gemessen hat – diesmal in einer Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie, dem GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung, Darmstadt und der University of Notre Dame (Indiana, USA).

Doch obwohl sie mit ihrer Arbeit einen neuen Blick in das junge Sonnensystem und das Innere von fernen Sternen ermöglichen, geben sich die Forschenden am PSI bescheiden: «Unsere Messung der Halbwertszeit ist nur ein Zwischenschritt. Es sind weitere Messungen nötig, damit dieses Resultat bestätigt werden kann», betont Dorothea Schumann.

Originalveröffentlichungen:

New Measurement of the ^{60}Fe Half-Life; G. Rugel, T. Faestermann, K. Knie, G. Korschinek, M. Poutivtsev, D. Schumann, N. Kivel, I. Günther-Leopold, R. Weinreich and M. Wohlmuther; *Phys. Rev. Lett.* **103**, 072502 (2009).
Measurement of the $^{60}\text{Fe}(n,\gamma)^{61}\text{Fe}$ Cross Section at Stellar Temperatures; E. Uberseder, R. Reifarh, D. Schumann, I. Dillmann, C. Domingo Pardo, J. Görres, M. Heil, F. Käppeler, J. Marganiec, J. Neuhausen, M. Pignatari, F. Voss, S. Walter and M. Wiescher; *Phys. Rev. Lett.* **102**, 151101 (2009).

Beherrscher des Zufalls

Mathematischer Ansatz hilft, bessere Diesel-Abgaskatalysatoren zu entwickeln

Was kann man von einem Doktoranden erwarten, der fast 40 Jahre alt ist? «Kreativität, experimentelles Geschick und Beharrlichkeit», antwortet sein nur wenige Jahre älterer Chef, Oliver Kröcher, Leiter der Arbeitsgruppe Nachbehandlung von Autoabgasen am PSI. Der Spezialist für Katalysatorteknik ist begeistert von den Arbeiten seines Schützlings, Sandro Brandenberger. Er hat mit einem höchst unkonventionellen Ansatz eine Aufgabe gelöst, an der vor ihm schon zahlreiche, oft auf der Karriereleiter deutlich höher gestiegene Experimentatoren gescheitert sind.

Für einen Industriepartner sollte Brandenberger die nächste Generation von sogenannten «metallausgetauschten» Zeolith-Katalysatoren entwickeln. Damit verfolgt die Automobilindustrie das Ziel, Stickoxide aus den Abgasen von Dieselmotoren zu entfernen. Das sind zum Teil giftige Verbindungen, welche die Ozonschicht der Erde zerstören. Für die Reduktion der Abgase kommen zwei Arten von Katalysatoren infrage: Im Lkw nutzen die Hersteller oft das Übergangsmetall Vanadium, das aber in Verdacht steht, krebserregend zu sein, wenn es bei hohen Temperaturen gasförmig in die Umwelt gelangt.

Dieselaautos brauchen besondere Katalysatoren

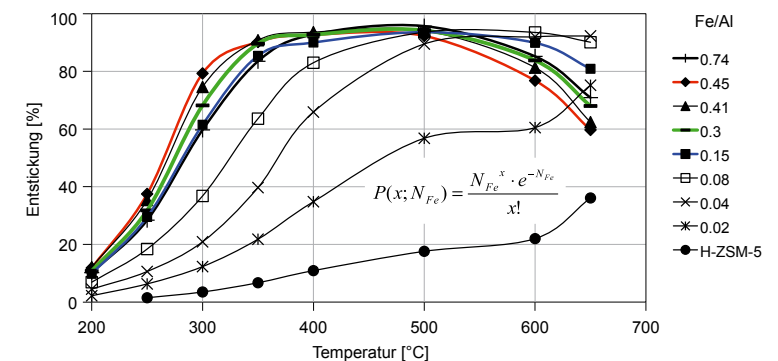
Daher setzt die Industrie verstärkt auf Zeolithe, kristallartige Minerale, die sich aus einer meist ungleichen Zahl Siliziumoxid- und Aluminiumoxid-Tetraedern aufbauen, die sich ihre Sauerstoffatome teilen. Das verleiht ihnen

eine extrem verästelte, porige Struktur mit einer immensen inneren Oberfläche. An den Sauerstoffatomen der Aluminiumoxid-Tetraedern können sich zudem Metallkomplexe anlagern. Dann spricht der Materialforscher von metallausgetauschten Zeolithen. Insbesondere in eisenhaltigen Alumosilikaten können chemische Reaktionen sehr effizient ablaufen, weshalb sie sich als Diesel-Abgaskatalysatoren eignen.

Bislang war unklar, welche Eisenkomplexe die gewünschten Reaktionen am stärksten beschleunigen. Denn neben einfachen Atomen enthalten die Zeolithe oft auch Eisenoxidverbindungen, Brückenstrukturen oder gar Zusammenballungen von Eisenpartikelchen. «Selbst die Experten der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS, die sich auf die Untersuchung von Katalysatoren spezialisiert haben, konnten sich aus der Fülle der experimentellen Daten keinen rechten Reim machen», sagt Kröcher. «Es brauchte erst einen unkonventionellen Ansatz.»

Auch die Wissenschaft kennt Indizienbeweise

Einen solchen ersann Brandenberger. Schon bevor er für seine Doktorarbeit ans PSI kam, war er ein erfahrener Materialexperte: Er arbeitete mehrere Jahre in Laboratorien der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa sowie in der Wasserforschungsanstalt Eawag. «Wahrscheinlich hat er sich deshalb als begnadeter Spezialist für die Präparation sortenreiner



Die Poisson-Verteilung aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung beschreibt hervorragend die Aktivitäten verschiedener Eisen-ausgetauschter Zeolith-Katalysatoren zur Reduktion von Stickoxiden (Entstickung) in Dieselabgasen bei verschiedenen Temperaturen.

Proben hervorgeraten», erzählt sein Doktorvater. «Er «tüteltete» so lange herum, bis er Proben erhielt, die jeweils vor allem ein bestimmtes Eisen-Monomer enthielten. An diesen führte er seine Untersuchungen durch, wobei er sich – und das ist der Clou – bei der Interpretation der Ergebnisse simpler Wahrscheinlichkeitsrechnung bediente. In der Kriminologie nennt man das wohl einen Indizienbeweis», amüsiert sich Kröcher über diesen pfiffigen Ansatz.

Wenn man bei der Synthese der Zeolithe nur sehr dosiert Eisen eintauscht, kann man davon ausgehen, dass sich vor allem Monomere bilden, sich also einzelne

Eisenatome als Reaktionszentren herauskristallisieren. Bei steigender Konzentration kommen weitere Verbindungen hinzu. «Wenn wir wussten, dass das Material zum Beispiel aus 40 % Monomere, 15 % Dimere und 30 % Oligomere sowie aus ein paar Clustern Eisenpartikelchen besteht, konnte Brandenberger voraussagen, wie hoch die Aktivität war», erzählt sein Doktorvater. «Oder er konnte uns sagen, wie ein Material mit gewünschten Eigenschaften präpariert werden muss. Alles passte hervorragend zu seinen Berechnungen.»

Brandenberger fand zudem heraus, dass Eisen am aktivsten ist, wenn es als einzelne Atome in der Zeolith-Matrix eingebaut ist. «Das ist ein ganz wichtiges Ergebnis für unseren Industriepartner», sagt Kröcher. «Die wissen jetzt, wie sie ihre Produktion ansetzen müssen.» Mit computergestützten Berechnungen konnte der begabte Experimentator zeigen, dass das Eisen im Zeolith nicht dazu neigt, sich zusammenzuballen. «Wegen dieser <unabhängig voneinander stattfindenden Ereignisse> funktioniert das Ganze mit der Wahrscheinlichkeitsrechnung bestens», betont Kröcher.

Industrie kann nun bessere Katalysatoren herstellen

Brandenberger hat ferner herausgefunden, welche Effekte dafür verantwortlich sind, dass feuchte Katalysatoren bei sehr hohen Temperaturen instabil werden. «Da gab es bislang unterschiedliche Vermutungen», sagt Brandenberger. Er zeigte, dass mehrere gleichwertige



Sandro Brandenberger bei der Präparation metallausgetauschter Zeolith-Katalysatoren.

Prozesse parallel ablaufen. «Unsere Partner sind begeistert», fügt sein Chef hinzu. «Die können ihre Produktion nun darauf einstellen.»

Eine Zukunft wird es für den cleveren Doktoranden beim PSI wohl nicht geben. Er hat die langen Autofahrten von Dübendorf, wo er mit seiner Familie wohnt, zum Labor am PSI satt. Seinem Chef ist aber nicht bange um die Zukunft seines Schützlings, mit dem zusammen er bereits viele Artikel in angesehenen Fachmagazinen

publiziert hat. «Er wird seinen Weg machen», ist sich Kröcher sicher.

Originalveröffentlichung:

Estimation of the fractions of different nuclear iron species in uniformly metal-exchanged Fe-ZSM-5 samples based on a Poisson distribution; S. Brandenberger, O. Kröcher, A. Tissler, R. Althoff; Appl. Catal. 373 (2010) 168-175.

Dem Fehler stets voraus

GFA macht die Grossforschungsanlagen zuverlässig und stellt einen neuen Rekord auf

«Es ist fast wie einen Jumbojet fliegen», beschreibt Mike Seidel, Abteilungsleiter im Fachbereich Grossforschungsanlagen GFA die Arbeit seiner Abteilung. Beim Betrieb der Teilchenbeschleuniger ist, ebenso wie im Cockpit, die Zahl der erfassten Messwerte, der Lämpchen und Anzeigen so gross, dass ein einzelner Mensch sie niemals alle überwachen kann. Der Pilot nutzt Kontrollsysteme und lässt einen Grossteil der Flugstrecke mit Autopilot fliegen. Sobald aber ein Problem auftritt, muss er den Fehler sofort diagnostizieren und manuell eingreifen. Für GFA heisst das: Bereits der Ausfall einer einzigen Komponente kann zum Stillstand der ganzen Anlage führen, wenn nicht blitzschnell reagiert wird. Da ist gute Zusammenarbeit wichtig: Am PSI betreibt GFA die Anlagen und der Fachbereich Logistik LOG sorgt für die notwendige Infrastruktur wie Elektroversorgung, Klimatisierung oder Prozesskühlung. Im internationalen Vergleich erreichen die PSI-Anlagen immer wieder Spitzenwerte bei der unterbrechungsfreien Nutzungszeit für Experimente.

Der Protonenbeschleuniger mit dessen Hilfe die für viele Experimente benötigten Neutronen und Myonen erzeugt werden, erreicht mit 1,3 MW die weltweit höchste Strahlleistung. Bei dieser hohen Leistung führen bereits geringste Verluste zu Abschaltungen. Folglich ist dieser Beschleuniger vergleichsweise heikel. Trotzdem erreichte er 2009 eine Zuverlässigkeit des Betriebs von 90 %. Das ist ein sehr guter Wert im internationalen Vergleich mit ähnlichen Anlagen.

Verfügbarkeitsrekord an der SLS

Die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS hat 2009 sogar einen Rekord bei der Strahlverfügbarkeit aufgestellt: Zu fast 99 % der für den Betrieb geplanten Zeit konnte der Strahl zur Verfügung gestellt werden. Das ist wichtig für die Wissenschaftler, die oft von weit her anreisen und an manchen Strahllinien, wie etwa der sehr begehrten Proteinkristallografie, nur acht Stunden Messzeit zur Verfügung haben.

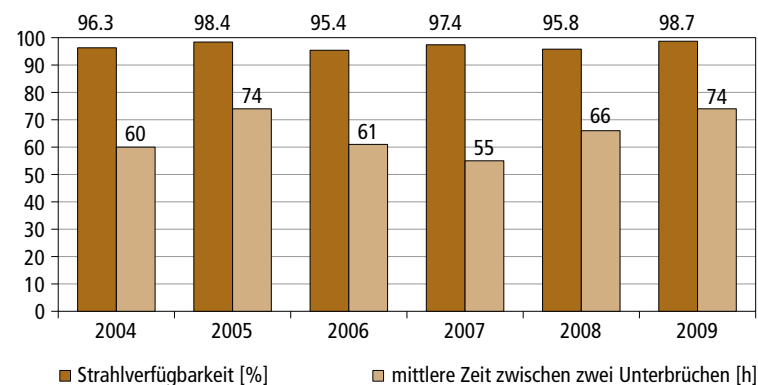
Mit der SLS, an der Experimente mit Röntgenstrahlung durchgeführt werden, dem Hochintensitäts-Protonenbeschleuniger für Experimente mit Myonen und Neutronen und den Protonentherapie-Anlagen für die Krebstherapie sind sehr unterschiedliche Anlagen zu betreuen. Alle Teilchenbeschleuniger werden von einem Kontrollraum aus zentral gesteuert. So genügen drei Operateure pro Schicht, um den Betrieb sicherzustellen. Insgesamt ist die Arbeit auf 25 Personen verteilt, die im 3-Schicht-Betrieb rund um die Uhr, 365 Tage im Jahr, die Anlagen beaufsichtigen.

100 000 Parameter werden laufend überwacht

Im GFA-Kontrollraum läuft eine unglaubliche Menge an Daten zusammen. Allein am Speichern der SLS werden über 100 000 Parameter aufgezeichnet und permanent ausgewertet. Einige tausend verschiedene Stellgrößen können verändert werden, um die Eigen-

schaften der Teilchenstrahlen zu optimieren. So variieren die Operateure die Ströme in den zahlreichen Elektromagneten oder regulieren die Hochspannung von Beschleunigungsstrukturen.

Die Vielfalt der Anlagen stellt hohe Anforderungen an die Operateure. Bei einem Unterbruch müssen sie die Ursache schnellstmöglich finden. Sei es, dass Kühlwasser austritt, ein Hochfrequenzverstärker oder ein Magnetspeisegerät ausfällt. Die Ausbildung der Operateure, meist Techniker oder Ingenieure, ist anspruchsvoll. Es dauert mehrere Jahre, bis jemand das nötige Wissen für alle PSI-Anlagen erworben hat. Regelmässig finden



2009 erreichte die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS einen Rekordwert in der Verfügbarkeit.



Im zentralen Kontrollraum laufen alle Fäden zusammen. Schichtleiter Frank Buchser optimiert den Teilchenbeschleuniger der Protonentherapieanlage.

Ausbildungs- und Trainingsschichten statt, in denen etwa das Optimieren eines Beschleunigers nach einem Betriebsausfall geübt wird.

Auftretende Fehler werden durch die Fachgruppen analysiert. Häufig ausfallende Komponenten werden durch andere Typen ersetzt. «Wir machen sehr vieles präventiv. Die Verschleissteile von Vakuumpumpen wer-

den ausgetauscht, lange bevor sie defekt sind, und kritische Teile der Wasserkühlung werden laufend ersetzt. In vielen Kühlkreisläufen haben wir kostenintensive Entgasungsanlagen nachgerüstet, um Korrosion und daraus folgende Langzeitschäden an den Elektromagneten zu vermeiden», erklärt Mike Seidel. «Auch die Computertechnik halten wir stets auf dem aktuellen Stand.»

Kleinste Fehler können Stillstand bewirken

Da der Ausfall einer einzigen Komponente unter Tausenden bereits zum Stillstand der Anlagen führen kann, muss die Fehlerwahrscheinlichkeit der einzelnen Bauteile extrem niedrig sein. Ein Beispiel: Für hundertfach eingesetzte Steuercomputer beträgt die durchschnittliche Zeit bis zum Eintritt eines Fehlers jeweils mehr als 20 Jahre.

Bei den Grossanlagen werden kritische Bauteile ständig weiterentwickelt. So werden zum Beispiel am Ringzyklotron der Protonenanlage jetzt neuartige Dehnverbindungen benutzt. Sie sorgen für eine vakuumdichte Verbindung zwischen Magneten und Resonatoren. Vor dem Austausch waren diese Verbindungen oft für Vakuumschlecks verantwortlich. Nun gibt es kaum noch Betriebsunterbrüche, da die neuen Verbindungen eine ausgeklügelte Doppeldichtung im evakuierten Zwischenraum haben.

«Trotz aller Verbesserungen bleibt ein Teilchenbeschleuniger ein komplexes Gerät, das aus einer enormen Anzahl Bauteile besteht und nie vollkommen perfekt funktionieren wird», sagt Seidel. «Gerade die Vielfalt der eingesetzten Technologien und die Zusammenarbeit von Experten aus ganz verschiedenen Fachgebieten machen die kontinuierliche Verbesserung unserer Anlagen zu einer spannenden Herausforderung.»

Pionierarbeit am PSI setzt Trends in der Strahlenmedizin

In den vergangenen 25 Jahren wurden mehr als 5000 Augentumoren behandelt

Sonntagnachmittag, 16 Uhr. Endlich ist es geschafft! Peter Meyer und seine Techniker-Kollegen haben wieder einmal ein Wochenende und eine Nachtschicht im Bunker des nun schon 35-jährigen Zyklotrons verbracht, um ein Leck im Vakuumsystem zu reparieren. Die Maschine ist wieder betriebsbereit und beschleunigt Protonen auf fast 100 000 Kilometer pro Sekunde. Diese extrem hohe Geschwindigkeit ist notwendig, damit die Teilchen die Tumorzellen im Innern des Auges erreichen und zerstören können. Mehr als 25 Patientinnen und Patienten sind diese Woche zur Bestrahlung eines Aderhautmelanoms angemeldet. Sie alle profitieren vom Spezialeinsatz des Technikerteams, denn ohne ein gutes Vakuum würden die Protonen die für die Therapie notwendige Geschwindigkeit nicht erreichen.

«Das Aderhautmelanom ist ein relativ seltener, jedoch sehr bösartiger Tumor, der zu einer hässlichen Grösse heranwachsen kann», erläutert die Radioonkologin Gudrun Goitein. Das Risiko, daran zu erkranken, steigt mit zunehmendem Alter.

Die meisten Augenbehandlungen weltweit

«Pro Jahr behandeln wir 200 bis 250 Patienten, davon etwa 40 aus der Schweiz», sagt die Radioonkologin. Der Rest stammt aus ganz Europa. «Es gibt weltweit keine

vergleichbare Therapiestation, die mehr Menschen mit dieser Krankheit behandelt hat als wir», ergänzt Professor Eugen Hug, Chef des Zentrums für Protonentherapie am Paul Scherrer Institut. Seit 1984 sind das immerhin 5300 Patientinnen und Patienten. Das PSI hat in Europa Pionierarbeit geleistet und schon 1982 mit dem Aufbau einer Augentherapiestation mit Protonenstrahlen begonnen. Hug und seine Kollegin Goitein arbeiten eng mit den Fachärzten des Hôpital Ophthalmique Jules Gonin der Universität Lausanne zusammen. Dort werden die Patienten mit einem operativen Eingriff am Auge auf die Bestrahlung vorbereitet. Damit man die Lage des Tumors auf einem Röntgenbild sehen kann, werden aussen auf den Augapfel um die Tumorbasis sogenannte Tantalclips genäht. Dies erlaubt eine zuverlässige Positionskontrolle des kranken Auges. Der Erfolg der am PSI eingesetzten Methode liegt bei über 98%. In etwa 90% der Fälle kann das vom Tumor befallene Auge gerettet werden.

Die Mediziner am PSI verwenden für die Krebsbekämpfung ein ganz besonderes Instrument: Mit hochbeschleunigten Protonen aus einem ursprünglich für die physikalische Grundlagenforschung entwickelten Teilchenbeschleuniger beschiessen sie gezielt das kranke Gewebe. Protonen eignen sich hervorragend zur Behandlung von Primärtumoren, da ihre besonderen physikalischen Eigenschaften es ermöglichen, sie auf wenige

Zehntelmillimeter genau ins kranke Gewebe hineinzuschliessen, wo sie stecken bleiben und ihre zerstörerische Wirkung voll entfalten. Das gesunde Gewebe davor und dahinter wird geschont.

Mit der neuen Anlage können künftig noch mehr Menschen geheilt werden

In diesem Jahr wurde ein neuer Therapieplatz für die Behandlung von Augentumoren fertig gestellt: OPTIS 2 ist an das speziell für die Protonentherapie entwickelte supraleitende Medizinzyklotron angeschlossen. «Wir freuen uns, bald noch mehr Kranken helfen zu können», meint der Arzt Hug. Er blickt zufrieden auf das vergangene Jahr zurück. Konnten er und sein Team doch wie in den Jahren zuvor zeigen, dass ein weiteres am PSI entwickeltes Verfahren, die Spot-Scanning-Technik für tief im Körper liegende Tumoren, ebenfalls sicher und erfolgreich durchgeführt werden kann. «Wir sind bislang die Einzigen auf der Welt, die Langzeitdaten über den Erfolg mit der Spot-Scanning-Technik besitzen», berichten die Mediziner stolz.

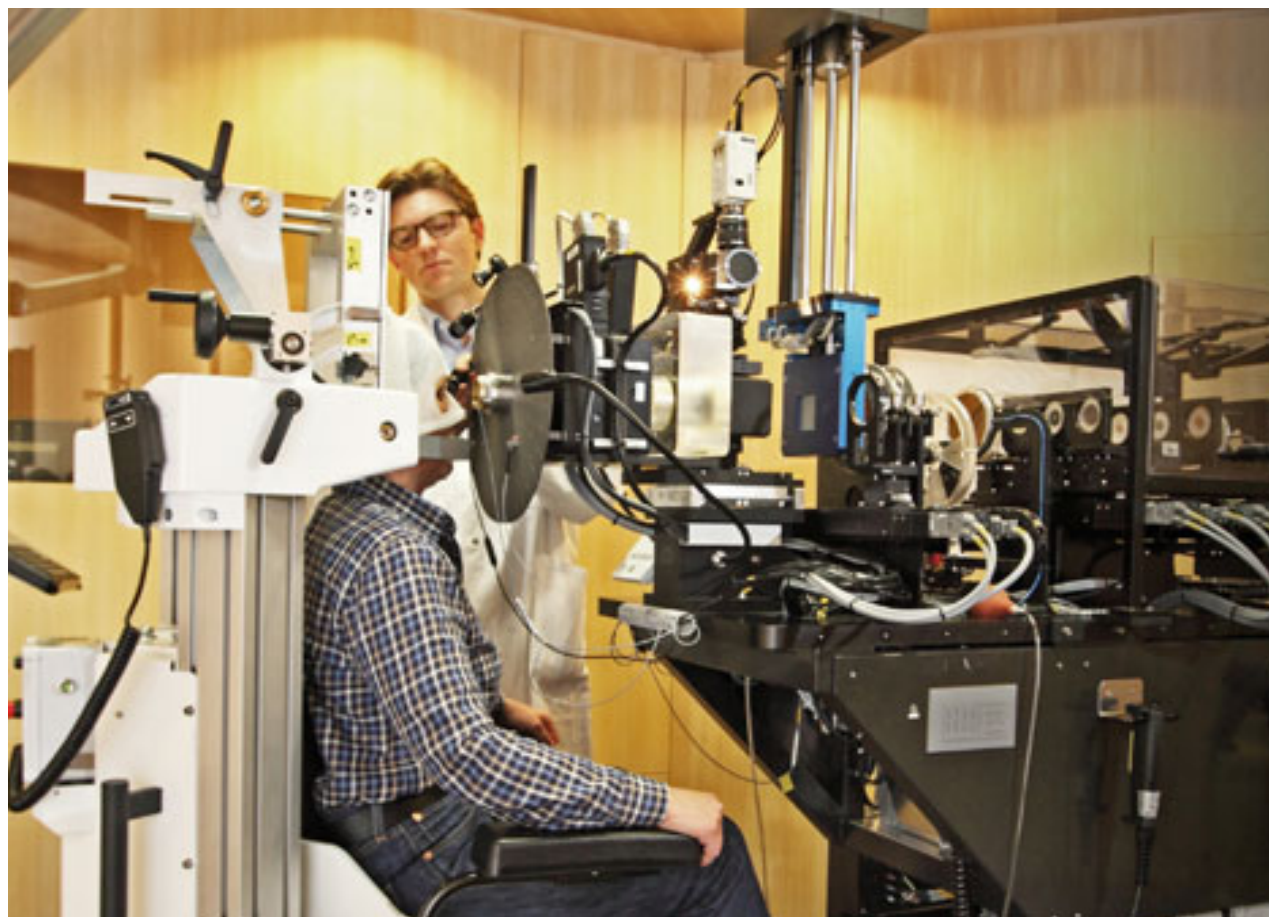
Das Zentrum für Protonentherapie – ein Austauschforum für Krebstherapeuten

In den vergangenen zehn Jahren wurden mehr als 500 Krebskranke mit der schonenden Spot-Scanning-Technik behandelt, bei der das Krebsgeschwür Punkt für Punkt mit Milliarden von Protonen «beschossen» und dadurch abgetötet wird. «Da sind wir technisch an vorderster Front», betont Goitein. Mit der Industrie bestehen seit acht Jahren Lizenzverträge, um diese Bestrahlungsmethoden in Zukunft Kliniken und Spitälern zugänglich zu machen. Nun arbeiten die Wissenschaftler des PSI daran, auch Tumoren, die sich während der Atmung bewegen, beispielsweise in der Lunge, mit der Spot-Scanning-Technik zu besiegen.

Kein Wunder, dass diese Erkenntnisse in der medizinischen Fachwelt auf höchstes Interesse stossen. «Wir haben 2009 viele Konferenzen durchgeführt und internationale Fortbildungen angeboten», sagt Hug. «Unsere Forschungseinrichtung ist wohl die einzige Institution, die alle Aspekte lückenlos abdecken kann – von der Produktion der Protonen über die Beschleuniger und die Strahlführung bis zur medizinischen Anwendung», resümiert der Mediziner. «Dabei muss man bedenken, dass das PSI grundsätzlich keine Klinik ist, sondern ein Forschungsinstitut.»

Besonders froh ist Hug über die grosszügige Förderung des Kantons Aargau für den Ausbau und die Weiterentwicklung der Protonentherapie am PSI. «Damit können wir unsere erfolgreiche Arbeit intensivieren, mehr Kranke heilen und Spitälern zeigen, welche Potenziale in dieser Form der Krebsbekämpfung stecken», erklärt der Leiter des Protonentherapie-Ambulatoriums am PSI.

Jeder Franken hilft. In den Ausbau der Protonentherapieanlage hat das PSI bereits zweistellige Millionenbeträge investiert. Ein grosser Teil davon stammt aus Spenden, auf die die klinische Forschung und die technologische Weiterentwicklung angewiesen sind. Auch kleine Beträge können Grosses bewirken. Auskunft erteilt Martin Jermann, Vizedirektor des PSI, Tel.: +41 (0)56 310 27 18, E-Mail: martin.jermann@psi.ch.



Der Physiker Jorn Verwey bereitet OPTIS für die Behandlung eines Patienten vor.

Zusammenarbeit mit der Industrie

Gemeinsame Forschungsprojekte, Auftragsforschung, Nutzung der Grossforschungsanlagen des PSI, Lizenzierung eines PSI-Schutzrechtes, Einwerben von Know-how-Trägern. Die Industrie nutzt die Kompetenzen des Paul Scherrer Instituts auf vielfältigste Weise. Einige Beispiele dazu sowie die geplante Hightech-Zone stellen wir Ihnen auf den nächsten Seiten vor.





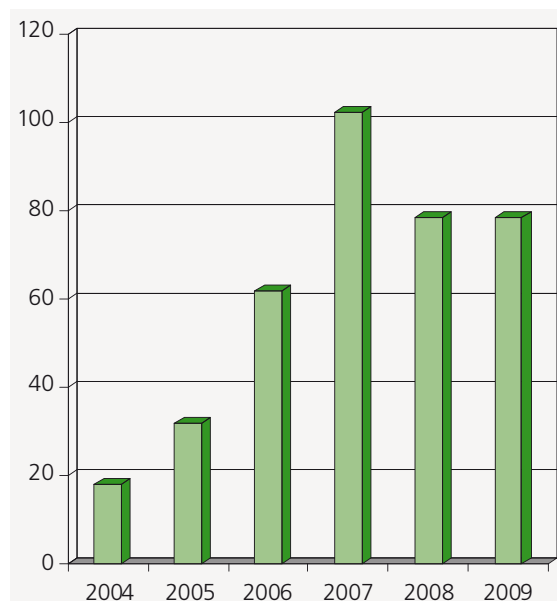
Das PSI als Scharnier zwischen Wissenschaft und Wirtschaft

Die Technologietransferstelle verbindet Labors und Unternehmen

«Das juristische Gewissen des PSI liegt bei uns», erklärt Robert Rudolph, Leiter der Technologietransferstelle am PSI augenzwinkernd. Die Arbeit der Technologietransferstelle besteht zu zwei Dritteln darin, Verträge zwischen dem Paul Scherrer Institut und der Industrie aufzusetzen. «Die Transferstelle ist die Drehscheibe zwischen der Wirtschaft und dem PSI, eine Art «One-Stop-Shop» für Industrieanfragen ans PSI», meint Rudolph. Einerseits bringt der Technologietransfer Forschung und Wirtschaft zusammen, andererseits gibt er Antwort auf rechtliche Fragen, seien dies Haftungs- oder Vertraulichkeitsfragen oder Probleme bezüglich des Urheberrechts. Egal, ob ein Unternehmen Lizenzen für an den Grossforschungsanlagen entstandene Entwicklungen erwerben, am PSI Analysemethoden für spezifische Bedürfnisse entwickeln lassen oder die Anlagen für eigene Forschung nutzen möchte – nichts geht ohne das entsprechende Vertragswerk. Hinzu kommen Anfragen aus der Hochschullandschaft nach Forschungsk Kooperationen. Die Technologietransferstelle ist auch interne Anlaufstelle für die PSI-Forscher in Fragen des geistigen Eigentums, der Vermarktung, Patentierung oder Auslizenzierung.

Reihen von Bundesordnern voller paragrafenstrotzender Verträge sucht man bei Rudolph dennoch vergebens. Nur einen Ordner mit Visitenkarten hat er auf seinem Pult. «Bei uns läuft alles elektronisch. Vor Kurzem

haben wir wieder 10 GB Speicherplatz bestellt», erklärt Rudolph. Die bisherigen 10 GB hat die Transferstelle in knapp vier Jahren gefüllt. Lediglich die Verträge sind, wie es das Gesetz vorschreibt, ausgedruckt im Tresor vorhanden. Sogar die Patente sind nur elektronisch abgelegt.



Anzahl der Zusammenarbeitsverträge mit der Industrie.

Projekt Hightech-Zone

Der Technologietransfer füllt nicht nur gigabyteweise Juristisches in den Computer, er sorgt auch dafür, dass die Forschungsarbeit am PSI den Weg zu potenziellen Abnehmern und Kooperationspartnern aus der Wirtschaft findet. Dazu gehören Auftritte an Messen ebenso wie das jüngste Projekt, die Hightech-Zone.

Bei diesem ambitionierten Vorhaben sollen Forschung und Wirtschaft enger zusammenrücken. Ein ans PSI angrenzendes Gelände von etwa 3,8 ha soll dafür auf privatwirtschaftlicher Basis für die Hightech-Industrie erschlossen werden. In der Zone sollen sich Industriebetriebe ansiedeln, die einen wissenschaftlichen oder technologischen Bezug zum PSI haben. Dafür würde sogar die Kantonsstrasse verlegt, damit sie das Gelände nicht vom PSI abtrennt. Die Richtplanänderung liegt zur Genehmigung vor. Wenn alles glatt geht, kann im Sommer 2010 das Baugesuch gestellt werden.

Peter Allenspach, Bereichsleiter Logistik, erklärt die Grundidee: «Es sollen sich Firmen ansiedeln, die bei uns messen und sich Büro- oder Laborplatz in der Nähe wünschen, etwa aus der Pharma- oder Maschinenindustrie. Hinzu kommen Unternehmen, die gemeinsam mit dem PSI entwickelte Produkte marktfähig machen und PSI-Spin-offs.» Je näher sich Industrie und Forschung räum-

lich sind, desto intensiver wird auch der Austausch sein. Oder, wie Peter Allenspach sich ausdrückt: «Die besten Ideen entstehen nicht im offiziellen Meeting, sondern beim gemeinsamen Kaffee im informellen Rahmen.» Den will man durch das räumliche Aneinanderrücken schaffen. Das PSI will noch besser wissen, was die Industrie braucht, die Industrie dagegen würde von Technologien erfahren, die für sie interessant sein könnten. «Die Problemstellungen sind in der Industrie manchmal anders als gedacht; das kann für Forscher sehr spannend sein», betont Allenspach.

Da das PSI ein Bundesbetrieb ist, muss es die unternehmerische Rolle Privaten überlassen. Aus diesem Grund wird nun ein Investor gesucht, der die multifunktionalen Gebäude für die Mieter aus der Industrie vorfinanziert. Dazu kommen Gebäude, die vom PSI betrieben werden und die nötige Infrastruktur zur Verfügung stellen: Werkstätten, Restaurant und Empfang, der die jährlich etwa 2000 anreisenden Forschenden rund um die Uhr willkommen heisst. Vorbei wären dann die Zeiten, in denen müde und schwer bepackte japanische Doktorandinnen nachts, nach anstrengender Reise, endlich am PSI ankommen und nur ein Telefon vorfinden, mit dem sie den Wachmann von seinem Rundgang rufen müssen, um ihn um den Zugangs-Badge zum Gästehaus zu bitten.

Chip ersetzt Oszilloskop

Nicht nur grosse Projekte wie die Hightech-Zone nahm die Transferstelle 2009 in Angriff, sondern auch besonders kleine. Sie vertreibt nämlich ein Produkt selbst, statt für eine Auslizenzierung zu sorgen. Eine Seltenheit. Dieses winzige Produkt ist ein Chip namens «Domino Ring Sampler». Er ersetzt das aus dem Physikunterricht bestens bekannte, sperrige Oszilloskop durch 5x5 Millimeter Silizium, mit 300000 winzigen Transistoren. Der



Peter Allenspach (l.) im Gespräch mit Robert Rudolph. Im Hintergrund ein Luftbild des PSI auf dem das Gebiet der künftigen Hightech-Zone in weiss-transparent eingzeichnet ist.

Chip kann gleichzeitig acht Signale und pro Sekunde fünf Milliarden Messungen aufnehmen und zur Auswertung weiterleiten. Viele aufwendige Experimente werden durch ihn überhaupt erst möglich. Da der am PSI entwickelte Chip intern in grossen Stückzahlen gebraucht wird, entschloss sich das PSI, ihn selbst herstellen zu lassen und die überschüssigen Exemplare an andere

Forschungseinrichtungen zu verkaufen. Bisher wurden 696 Stück abgegeben. Noch ist es möglich, die Chips intern zu testen und zu verschicken. Sollte die Nachfrage stark steigen, würde die Transferstelle eine Auslizenzierung anstreben – eines ihrer Kerngeschäfte, das wieder einige Byte der frischen 10 GB der Festplatte füllen wird.

Eine Blaupause für die Zukunft

Möglichkeiten für Spitzenforschung auf die Bedürfnisse der Industrie zugeschnitten

Das PSI entwickelt und betreibt einzigartige Grossforschungsanlagen, an denen sowohl PSI-Forschende als auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus Hochschulen und Industrie experimentieren. Jedes Jahr werden rund 2000 externe Forschende von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des PSI bei ihren Forschungs- und Entwicklungsvorhaben kompetent und umfassend unterstützt. Dadurch und durch die hohe technische Qualität der Anlagen hat sich das PSI weltweit einen hervorragenden Ruf als Benutzerlabor erworben. Heute gilt es international als Institut für Spitzenforschung.

Spin-off [sp...], das od. der; -[s], -s <engl.>

Bedeutung: Ausgliederung einzelner Geschäftsbereiche aus dem Mutterunternehmen.

Neben der **SLS Techno-Trans AG** gibt es noch 3 weitere SLS-Ausgründungen: Die **EXPOSE GmbH** bietet Grosskunden aus der Pharmaindustrie die Messung von kristallisierten Proteinen als Komplett-Dienstleistung an. Damit kann sich der Auftraggeber auf die Auswertung der Daten konzentrieren und spart die Zeit für Reisen und Präsenz am Messgerät. Das Erfolgsprodukt der **DECTRIS AG** ist der **PILATUS 6M** Detektor, eine Art digitale Röntgenkamera, die bei Experimenten mit Röntgenlicht eingesetzt wird. Das Unternehmen hat 2006 den Swiss Technology Award gewonnen. **EULITHA AG** entwickelt und produziert extrem kleine und dichte Nanostrukturen, die z.B. für Computerspeicher einsetzbar sind.

Aber wie war die Stimmung damals, 1996/97, als die Eidgenössischen Parlamentarier sich gerade mit dem Antrag des PSI zum Bau einer neuen Grossforschungsanlage befassten, der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS? Seit Sommer 1996 hatte das PSI die potenziellen Nutzer um konkrete Absichtserklärungen gebeten, in denen sie ihre Pläne und Wünsche für die SLS erläutern sollten. Schliesslich waren über 40 solche Erklärungen und einige detaillierte Vorschläge eingegangen. Sie kamen jedoch vor allem aus den akademischen Institutionen der Schweiz, und das reichte den Parlamentariern nicht. «Sie fürchteten, mit den veranschlagten 159 Mio. Franken vor allem ein neues Spielzeug für die Physiker des Landes zu finanzieren», erläutert Philipp Dietrich, ein engagierter Mitarbeiter mit vielen unterschiedlichen Aufgaben am PSI, die damalige Situation.

Ein wirtschaftlicher Ansatz überzeugt

Die Forderung an das PSI lautete daher nachzuweisen, dass auch die Schweizer Industrie von der Anlage massgeblich profitieren werde. Dies erwies sich als grosse Herausforderung, da die Industrie es vorzog, erst einmal abzuwarten. Nur mit viel persönlichem Einsatz der PSI-Protagonisten konnte den potenziellen industriellen Nutzern die Möglichkeiten der SLS nahegebracht werden. Dank dieser grossen Anstrengungen gelang es dem PSI, die 110 000 Franken Aktienkapital aus der Industrie zusammenzubekommen, um damit die Fürsprache der

Industrie für die Realisierung der SLS gegenüber den Parlamentariern zu dokumentieren. «Mit dem Kapital konnte im Februar 1997 die SLS-TechnoTrans AG (SLS-TT AG) gegründet werden. Sie hat die Aufgabe, die Synchrotronstrahlung, inklusive bestimmter Services, von der SLS zu kaufen und an industrielle Nutzer weiterzuvermitteln», berichtet Dietrich, der seit 2002 unter anderem Geschäftsführer der SLS-TT AG ist. Zu den Gründungsaktionären der SLS-TT AG gehören SULZER AG, RMB AG, ASCOM, NOVARTIS, Kabelwerke Brugg, Bank Vontobel und der Kanton Aargau. Langfristig war geplant, dass die Industrie via SLS-TT AG ihre eigenen Strahllinien an der SLS aufbaut und betreibt. Dieses Konzept und der wirtschaftliche Ansatz der Industrieunternehmen überzeugten schliesslich die Parlamentarier, und so stimmten der Nationalrat im März und der Ständerat im Juni 1997 der SLS-Finanzierung zu.

Die SLS ging im Jahr 2001 planmässig mit 4 Strahllinien in Betrieb. Doch erst nachdem die Firma Roche erste Experimente an der Anlage erfolgreich durchgeführt und damit das Analysepotenzial der SLS bestätigt hatte, kauften die Industrienutzer Dienstleistungen der SLS-TT AG. Der Bedarf wuchs rasch. Als Ergebnis beschlossen die Schweizer Pharmafirmen Roche und Novartis, zusammen mit der deutschen Max-Planck-Gesellschaft, an der SLS eine eigene Strahllinie für Proteinkristallografie zu finanzieren, die 2005 einsatzbereit war.

Die Grossen der Industrie bleiben gerne ungenannt

Auch Unternehmen aus anderen Industriezweigen fanden nach und nach den Weg an die SLS, so etwa aus der Automobil- oder IT-Branche. «Im Gegensatz zu Nutzern aus der Hochschule legen Industrieunternehmen jedoch allergrössten Wert auf Vertraulichkeit der Ergebnisse oder sogar vertraglich zugesicherte Anonymität», erklärt Philipp Dietrich, der als promovierter Maschineningenieur mehrere Jahre bei BMW in München gearbeitet hat. Darum haben Firmen auch kein Interesse, ihre Vorhaben durch eine internationale Jury begutachten zu lassen. Für das Privileg, Messzeit ohne obligatorische Begutachtung zu erhalten, müssen sie die Kosten für den Bezug von Synchrotronstrahlung und die Verwendung der apparativen Ausstattung an der SLS übernehmen. Diesen Service leistet die SLS-TT AG.

Ende 2009 sind an der SLS des PSI 16 Strahllinien in Betrieb. Sie wurden teilweise in internationaler Zusammenarbeit und mit Industrieunterstützung gebaut. An drei Strahllinien wird nur Proteinkristallografie betrieben. Inzwischen finanzieren die Pharmaunternehmen Actelion, Boehringer Ingelheim, Mitsubishi Chemical, Novartis, Proteros und Roche Teile der Strahllinien mit.

Die SLS-TT AG verfolgt ihren Auftrag weiter, die Dienstleistungen der SLS an die Industrie zu verkaufen. Dabei hat sie durchaus Erfolg: «Während andere Synchrotronanlagen etwa 2 bis 3 % ihrer Nutzungszeit an die Industrie vermarkten, hat die SLS-TT AG das ur-



Philipp Dietrich (m.) im Gespräch mit Meitian Wang, Wissenschaftler, und Sonia Reber, Technikerin, die an der SLS-Strahllinie X06DA externe Benutzer betreuen. Die Strahllinie wird von Actelion, Boehringer Ingelheim, Mitsubishi Chemical, Novartis und Proteros mitfinanziert.

sprüngliche, sich gesetzte Ziel von 5 % schon mehr als verdoppelt: Ganze 11 % werden derzeit von der Industrie genutzt», weiss der umtriebige Manager Dietrich und fährt fort «dabei macht die Aktiengesellschaft einen Umsatz von rund 1,5 Mio. Franken pro Jahr, von dem ein Teil ans PSI zurückfliesst, um die Anlagen für die Nutzer weiter zu verbessern.»

Eine Steilvorlage für den SwissFEL

Derzeit plant das PSI eine neue Grossforschungsanlage, den SwissFEL, der 2016 in Betrieb gehen soll. Mit

diesem Vorhaben wagt sich das Institut wieder an die Grenzen des Machbaren vor – genau wie damals bei der SLS. Auch hier werden Bundesrat und Parlament ihre Zustimmung geben müssen. Philipp Dietrich ist zuversichtlich: «Die Erfolgsgeschichte der SLS an sich und die Erfolge der SLS-TT AG, was den wirtschaftlichen Nutzen für die heimische Industrie anbelangt, sollten unseren Politikern das Vertrauen geben, dass sie mit dieser Investition der Schweiz auch weiterhin einen internationalen Spitzenplatz in Forschung und Entwicklung sichern. Das Erfolgsmodell der SLS-TT AG kann 1:1 für den SwissFEL übernommen werden».

Blick ins Innere einer Motorsäge

Weltpremiere: Am PSI entstand ein Film, in dem ein laufender Motor von innen gezeigt wird

Einmal mit laufender Kettensäge quer durch den Wald zu gehen ist für manche ein Bubentraum. Der Traum der Motorsägenhersteller ist ein ganz anderer: Sie würden zu gerne beobachten können, was in einem laufenden Motor passiert. Bisher versuchten sie, mit aufwendigen mathematischen Computersimulationen die Effizienz der Motoren zu verbessern. Aber was im laufenden Motor tatsächlich passiert, lässt sich in den Computersimulationen nur erahnen – einfach hineinschauen geht nicht. Könnte man dies, wäre es viel einfacher, den Verbrennungsvorgang zu optimieren. Gerade bei Zweitaktmotoren ist die Reduktion schädlicher Abgase ein heisses Thema. Für benzinbetriebene Arbeitsgeräte

wie Motorsägen gibt es in der Schweiz nämlich keine Abgasvorschriften. Bald sollen allerdings die strengen EU-Vorschriften übernommen werden.

Am PSI gelang ein wichtiger Schritt auf dem Weg zur Motoroptimierung. Erstmals wurden die beweglichen Teile in einem befeuerten Motor gefilmt. Hauptdarstellerin des Films ist eine Motorsäge der Firma Stihl. «Dieser Film ist eine Weltpremiere», freut sich Christian Grünzweig, Projektleiter Industriekontakte an der Neutronen-Spallationsquelle SINQ. Zwar gibt es bereits Bilder vom durchstrahlten Motoreninneren, aber dabei blieb der Motor selbst stets abgeschaltet und wurde von einem externen Elektromotor angetrieben, also quasi «geschleppt».

und die am Experiment beteiligten Ingenieure von Stihl, Mark Reichler und Armin Kölmel, beeindruckt.

Die Untersuchungen wurden an der Strahllinie ICON an der Neutronen-Spallationsquelle SINQ durchgeführt. Mit Neutronenstrahlen lässt sich, ähnlich wie mit Röntgenstrahlen, ins Innere eines Gegenstandes sehen, ohne ihn zu zerstören. Neutronenstrahlen haben gegenüber Röntgenstrahlen den Vorteil, dass die meisten Metalle für Neutronen kein Hindernis darstellen und von ihnen durchdrungen werden können. Da ein Kettensägenmotor hauptsächlich aus Aluminium besteht, durchdringen Neutronen ihn problemlos. 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 Rückschlüsse ziehen und ein detailliertes Bild errechnen. Die Grösse des Bildes hängt vom Durchmesser des Neutronenstrahls ab. An der Strahllinie ICON, an der die dynamischen Neutronenradiografie-Aufnahmen entstanden, reicht er bis 30 cm im Durchmesser, genug für einen kompletten Motorsägenmotor.



Neutronenradiografieaufnahme der Motorsäge. Kolben und Pleuelstange sind deutlich zu erkennen.

Hoch interessante Methode für Motorenhersteller

Die Technologietransferstelle des PSI hatte den Kontakt zum Sägenhersteller Stihl geknüpft. Dort stiess die Möglichkeit, einen befeuerten Motor während des Betriebs durchleuchten zu können, auf helle Begeisterung. Klaus-Martin Uhl, Abteilungsleiter Motorsägen Vorentwicklung bei Stihl: «Das ist ein Supererfolg. Die Methode ist für uns hoch interessant.» Die Möglichkeiten vor Ort haben Uhl

Bilder und Video dank eines Tricks

Ganz ohne Schwierigkeiten entstand der Film allerdings nicht. An 40 unterschiedlichen Kolbenpositionen, also nach jeweils 9 Grad der vollen Umdrehung von 360 Grad, sollten Neutronenbilder des Motoreninneren sehr



Christian Grünzweig (hinten) und Anders Kaestner bei der Justierung der Motorsäge für die dynamischen Messungen.

präzise aufgenommen werden. Nur: Wer jemals eine Motorsäge in der Hand hielt weiss, wie unruhig solch ein Zweitaktmotor läuft. Die Vibrationen erschwerten die Messungen sehr.

Christian Grünzweig und Anders Kaestner gelang es durch einen Trick, Bilder der beweglichen Teile in allen Phasen des Motorlaufs zu erhalten. Da kein Zweitaktmotor regelmässig wie ein Uhrwerk läuft, konnte man die Messzeitpunkte nicht wie üblich über die Zeit steuern. Grünzweig und Kaestner lösten das Problem mit

sogenannten getriggerten Messungen. Der Messsignalgeber, der Trigger, wurde einmal pro Umdrehung ausgelöst. Bildaufnahme und Motorbewegung konnten so synchronisiert werden. Für den Film wurde jede Kolbenposition 16-mal übereinander belichtet. Die Belichtungszeit für jedes der 16 Rohbilder betrug 500 Mikrosekunden. Die Aufnahmen der identischen Zykluspositionen wurden aufaddiert, zu einem Bild zusammengefügt und die so gewonnenen Bilder zu einem Video zusammengesetzt. Fast nach Art eines Daumenkinos entstand ein

Film der sich bewegenden Teile im Motor, und zwar im Leerlauf der Motorsäge, bei 3000 Umdrehungen pro Minute. Limitiert war die Drehzahl nur durch die eigens für diese Messungen installierte Abgasabsaugung.

Nächster Schritt: Verteilung der Kraft- und Schmierstoffe beobachten

Die Zusammenarbeit mit Stihl steht erst am Anfang. In einem nächsten Schritt soll die Verteilung von Schmiermitteln und Kraftstoff im Motor während des Laufs beobachtet werden. Neutronen werden von dem in den Schmier- und Kraftstoffen enthaltenen Wasserstoff absorbiert. Sie sind also sehr gut und als einzige Methode zur Abbildung geeignet.

Die Mengen an Zweitaktgemisch, die sich während des Betriebs im Motor befinden, sind sehr gering. Die erzielten Kontraste sind momentan noch unterhalb der Nachweisgrenze. In Zusammenarbeit mit dem Labor für Anorganische Chemie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich ETH, werden nun bor- und gadoliniumhaltige Additive hergestellt. Sie können dem Zweitaktgemisch beigefügt werden und erhöhen den Kontrast für die dynamische Neutronenradiografie markant. Wenn sie sich bewähren, wird es Zeit für eine weitere Weltpremiere: Der erste befeuerte Zweitaktmotor im Lauf, mit Live-Aufnahmen der Öl- und Schmiermittelverteilung.

Link zum Movie:

http://niag.web.psi.ch/annual_reports.html

Dienstleistungen für die Forschungsgemeinschaft

Grossforschungsanlagen im eigenen Land bieten einheimischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern einen internationalen Standortvorteil. Gerade junge Forscherinnen und Forscher lernen schon früh, derart komplexe Anlagen für ihre Forschungsarbeiten gezielt einzusetzen und erlangen so einen Vorteil, wenn sie sich später mit den besten Köpfen der Welt messen müssen. Solche Hightech-Maschinen sind zudem Ansporn für die heimische Industrie, wodurch hoch qualifizierte Arbeitsplätze gesichert und neue geschaffen werden.





Messzeit am PSI – gefragt wie nie

Die Grossforschungsanlagen werden immer stärker miteinander verzahnt

Der Nutzerdienst des Paul Scherrer Instituts registriert einen neuen Rekord bei der Zahl der Experimente an den Grossforschungsanlagen: 1734 Experimente wurden 2009 am PSI durchgeführt, 76 mehr als im Vorjahr. Einen weiteren Rekord gab es bei den Besuchen der Grossanlagenutzern: 4276 statt der knapp 4000 ein Jahr zuvor. Ein Rekord auch bei den Anträgen auf Messzeit: 1225, ein Achtel mehr als 2008. Ein schöner Erfolg für das PSI.

Einzigartige Grossforschungsanlagen im Einsatz

Am Anfang steht immer der Nutzerdienst. Bevor Forscher und Forscherinnen ihre Proben verpacken und für Experimente ans PSI reisen, schicken sie ihren Antrag auf Messzeit in einer dicken elektronischen Datei an den Nutzerdienst. Darin erklären sie die Ziele ihrer Forschung und warum es dazu Messungen an einer Grossforschungsanlage des PSI braucht. Die Photonen, Neutronen und Myonen, die durch die Anlagen des PSI sausen, sind so aufwendig auf ihre Aufgaben getrimmt, dass sich eine einzelne Universität eine solche Anlage nicht leisten könnte. So senden an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS Elektronen Synchrotronlicht aus, mit dem man den Aufbau winzigster Strukturen untersuchen kann. An der SINQ kann man mit Neutronen die Anordnung und Bewegung von Atomen in der Materie und deren magnetische Eigenschaften bestimmen. Die μS hilft mit ihren Myonen, z. B. Magnetfelder im Inneren von Proben zu untersuchen. Viele Wissenschaftler

kämen ohne solche Grossforschungsanlagen mit ihrer Forschung irgendwann nicht mehr weiter. In der Schweiz gibt es solche Anlagen nur am Paul Scherrer Institut.

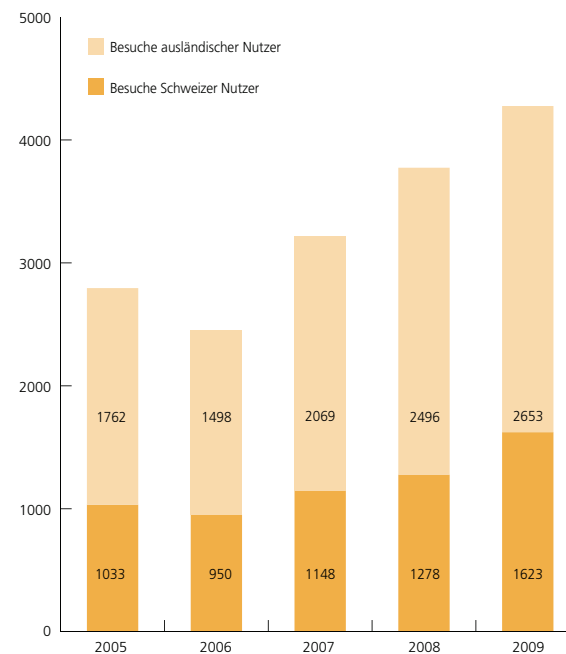
Der Flaschenhals: mehr Anträge als Messzeit

Der Nutzerdienst bildet das Scharnier zwischen den Nutzern, also Wissenschaftlern, die an den Anlagen des PSI experimentieren wollen, und den PSI-Forschern, die diese Nutzer bei ihren Experimenten unterstützen. Er kümmert sich um den organisatorischen Ablauf des Nutzerbetriebes und leitet die Anträge zur Beurteilung an ein Fachkomitee weiter. Es gibt einen Flaschenhals im System, weil als mehr Anträge auf Messzeit gestellt werden als Messzeit zur Verfügung steht. Aus diesem Grund bewertet ein Fachkomitee die Anträge und entscheidet, welche Projekte Messzeit bekommen.

Rekorde dank hoch zuverlässiger Anlagen

In den letzten Jahren hat die Anzahl der eingereichten Messzeitanträge stetig zugenommen. Stefan Janssen vom Nutzerbüro des PSI hat eine einfache Erklärung für die Rekordzahlen 2009: «Die Basis sind gut funktionierende Beschleuniger und die hervorragende wissenschaftliche und technische Betreuung der externen Nutzer durch die PSI-Mitarbeiter. Die Forschungsanlagen laufen extrem zuverlässig, daher können wir viel Messzeit anbieten. Das schlägt sich in den Experimenttagen

und den Besucherzahlen nieder.» Hinzu kommt, dass das PSI seine Anlagen ständig verbessert und erweitert. Im November wurde eine weitere Experimentierstation an der SLS eröffnet, die NanoXAS-Strahllinie. Mit dieser Anlage können die Forschenden ein Material im Milli-



Entwicklung der Nutzerbesuche seit 2005, aufgeteilt in Schweizer und internationale Besuche.



Stefan Müller (l.) und Stefan Janssen betreuen den PSI-Nutzerdienst.

onstelmillimeterbereich betrachten und unter anderem die darin enthaltenen chemischen Elemente bestimmen.

Der fortwährende Ausbau der Instrumente ist ein Grund, warum beim Nutzerdienst viel zu tun ist. Der andere besteht darin, dass am PSI drei Grossforschungsanlagen in Gehdistanz zueinander liegen. Mit Ausnahme einer Anlage in England findet man diese Situation sonst nirgendwo auf der Welt. Je nachdem, ob man etwa eine Probe mit Röntgenstrahlen aus Synchrotronlicht oder

mit Neutronen betrachtet, sieht man andere Details. Das machen sich Forschende zunehmend zunutze und messen an mehr als einer Grossforschungsanlage.

Anlagen verzahnen, Interdisziplinäres stärken

Der Nutzerdienst des PSI unternimmt viel, um die drei Grossforschungsanlagen so eng wie möglich zu verzahnen. Seit mehreren Jahren gibt es bereits ein ge-

meinsames Webtool, über das die Anträge für alle Forschungsanlagen eingereicht werden. Für Experimente auf dem Gebiet der Pulverdiffraktion ist es bereits seit 2008 möglich, in einem einzigen Antrag Messzeit an der SLS und gleichzeitig an der SINQ zu beantragen.

Und schlussendlich gibt es ein einziges elektronisches Feedbackformular für alle Grossforschungsanlagen, das die Nutzer nach Abschluss ihrer Experimente ausfüllen. Der SLS-Koordinator Stefan Müller erzählt: «Die Kommentare gehen von <zu viel italienisches Essen im Automaten> bis hin zum Lob, dass die Anlagen von Jahr zu Jahr noch bessere Ergebnisse liefern.»

Forschung wird zunehmend interdisziplinärer. Darum verschickt der Nutzerdienst seit Anfang 2009 vierteljährlich einen elektronischen Newsletter über alle PSI-Grossanlagen. Er berichtet über die wichtigsten Aktivitäten und stellt die Highlights der veröffentlichten Forschungsergebnisse vor, die auf Daten beruhen, die am PSI gemessen wurden. Seit 2009 gibt es eine gemeinsame Organisation, die die Interessen der Nutzer gegenüber dem PSI vertritt: JUSAP (Joint User Association at PSI). Dieser Interessenverband soll die Nutzergemeinde vernetzen. Als grosser Schritt in diese Richtung fand 2009 erstmals nicht für jede der drei Grossforschungsanlagen ein eigenes Nutzertreffen statt, sondern ein gemeinsames für alle diese Anlagen. Dazu konnten die Nutzer erstmals auch die Themen mitbestimmen. Das «JUM@P09» genannte Treffen war mit 200 Teilnehmenden ein guter Erfolg. Organisiert wurde es von PSI und JUSAP gemeinsam.

Die vielen weiteren kleinen Schritte scheinen ihr Ziel zu finden: In den Workshops des Nutzertreffens zeigte sich, dass die Nutzer stark von mehreren Forschungsanlagen am gleichen Ort profitieren. Kein Wunder werden immer mehr Anträge eingereicht. Stefan Janssen ist zufrieden: «Das ist unsere Absicherung für die Zukunft.»

Kristallisierte Grundbausteine des Lebens

Der Chemie-Nobelpreisträger 2009 nutzt die PSI-Anlagen für seine Experimente

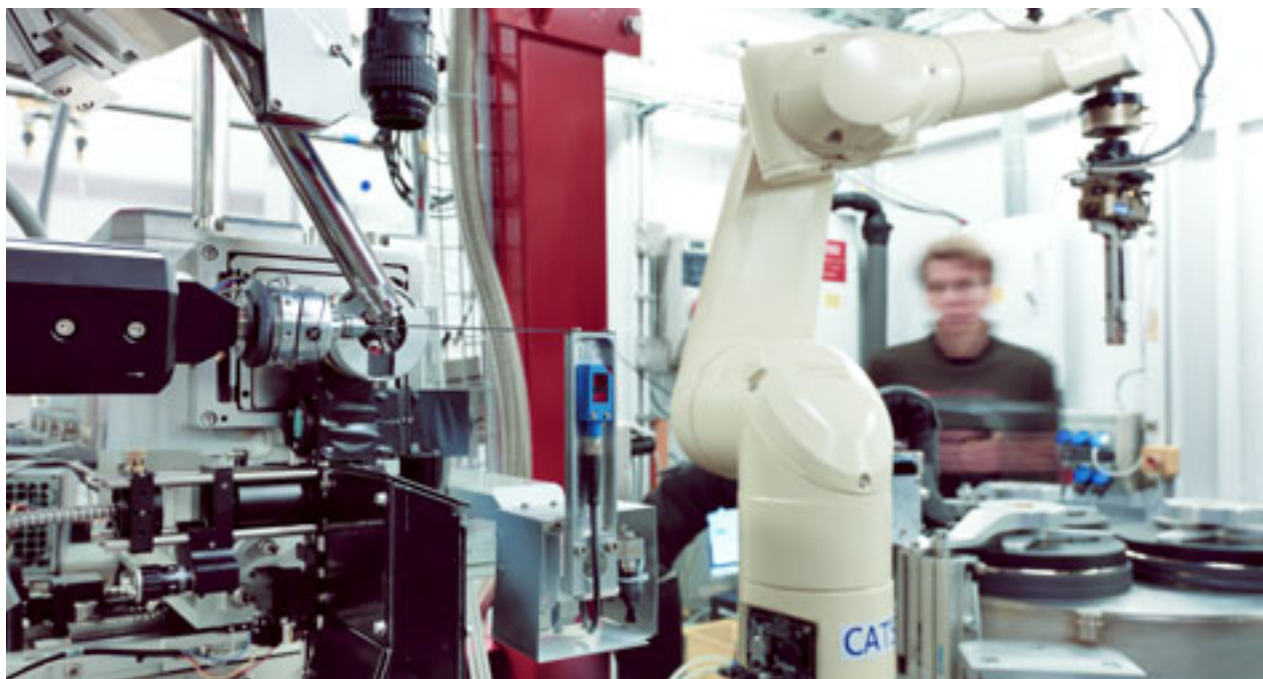
«Unsere Proteinkristallografie ist im internationalen Vergleich eine der am stärksten überbuchten Strahllinien überhaupt», erklärt Clemens Schulze-Briese, Leiter des Forschungslabors Makromoleküle und Bioimaging am Paul Scherrer Institut. Er meint damit, dass sich wesentlich mehr Forschende um Messzeit bei der Proteinkristallografie des PSI bewerben als überhaupt zur Verfügung steht. Warum das? Am PSI bekommen die Wissenschaftler, die aus der ganzen Welt für ihre Experimente anreisen, besonders zuverlässige Messungen, aus denen sie sehr detaillierte Darstellungen der von ihnen untersuchten Proben erhalten. Proteinkristallografie ist so gefragt, weil man damit die detaillierte Struktur von Proteinen aufklären kann. Alle Lebensfunktionen basieren auf Proteinen (s. Kasten). Durch das Wissen, wie Proteine gebildet werden, wie sie Körperfunktionen steuern und Stoffe in Körperzellen hineintransportieren, können bessere Medikamente entwickelt werden. Auf diesem Gebiet herrscht grosser Wettbewerb, weshalb die Wissenschaftler an den Instituten mit den besten Geräten messen wollen, um die besten Bilder zu erhalten.

Die Tücke des Kristalls

Was ist Proteinkristallografie und wozu braucht man sie? Um die Struktur eines Proteins ansehen zu können, muss man es in sehr konzentrierter Form in eine Lösung bringen, wo es unter bestimmten Bedingungen kristallisiert. Den Kristall hält man in den Röntgenstrahl und misst,

wie der Strahl bei seinem Weg durch das Kristallgitter abgelenkt wird. Aus diesen Daten kann man dreidimensionale Bilder errechnen. Die Zucht eines solchen Kristalls ist aufwendig und auf einen genauen Zeitpunkt hin nicht möglich. Daher können die Nutzer am PSI die Termine frei wählen, statt wie an anderen Instituten üblich,

Messzeit tageweise fix zugewiesen zu bekommen. Am PSI steht an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS ein so zuverlässiger Röntgenstrahl zur Verfügung, dass die dort verfügbare Proteinkristallografie Messschichten von nur acht Stunden pro Nutzer anbietet.



Experimentierstation der Strahllinie X10SA, mit Probenhalter (links) und Probentransferroboter (Bildmitte).

Allein 2009 führten 750 Forschende an den drei Proteinkristallografie-Strahllinien etwa 430 Experimente durch. Darunter auch die Gruppe von Venkatraman Ramakrishnan, der 2009 mit dem Chemie-Nobelpreis ausgezeichnet wurde. Er misst seine Kristalle seit sieben Jahren am PSI. Dass solche Spitzenforscher regelmässig hierher kommen, erklärt Schulze-Briese mit der guten Zusammenarbeit, die hier unter den Mitarbeitenden aller Bereiche herrscht und die die Grundlage für gute Ergebnisse bildet. «Es ist wie in einem Spitzenhotel. Gute Betten allein reichen nicht, alles muss stimmen: Lage, Atmosphäre und Service.»

Einzigartig: Kristalle an der Strahllinie züchten

«Ramakrishnan kam vor allem wegen der Strahllinie X06SA, «dem Ferrari» ans PSI», sagt Schulze-Briese sarkastisch. Daneben gibt es eine auf höheren Durchsatz ausgelegte Strahllinie, bei der die Proben einfacher montiert werden können. Sie bietet eine weltweit einzigartige Möglichkeit: Die Forscher können ihre Kristalle direkt vor Ort am Kristallisationsroboter züchten und sofort an der Strahllinie mit Röntgenstrahlung charakterisieren. Eine weitere Strahllinie haben die Pharmakonzerne Hoffmann-La Roche und Novartis zusammen mit der deutschen Max-Planck-Gesellschaft finanziert und nutzen sie grösstenteils selbst. Rund 30 Pharmafirmen kommen regelmässig zum Messen ans PSI. Mit ein Grund, weshalb die Drittmittelquote der Proteinkristallografie deutlich über 50 % liegt. Seit 2009 gibt es einen zusätzlichen Service für Firmen, die nicht selbst zum Messen ans PSI kommen möchten: Sie können ihre Proben an das PSI-Spin-off mit dem Namen «Expose» zur Messung schicken. Dies sind einige der Gründe, warum die Überbuchung der Proteinkristallografie des PSI nicht so schnell nachlassen wird.

Proteine sind Leben. Proteine sind die Grundbausteine des Lebens und in unendlich vielen Formen anzutreffen: Als Hormon, als Hämoglobin, das den Sauerstoff im Blut transportiert, als Antikörper im Immunsystem. Die Proteinkristallografie ermöglicht es, die Struktur der Proteine zu bestimmen. So verstehen die Wissenschaftler beispielsweise immer besser, wie die DNA, der genetische Bauplan in jeder Zelle unseres Körpers, in Leben umgesetzt wird. Die DNA allein ist so passiv wie eine Reihe von Bundesordnern voller Bauskizzen. Es braucht Werkzeuge, Ribosomen, um aus den enthaltenen Informationen die Bausteine des Stoffwechsels, die Proteine, herzustellen.

Vier Fragen an den Nobelpreisträger Venkatraman Ramakrishnan, Nutzer des PSI

Venkatraman Ramakrishnan vom MRC Laboratory of Molecular Biology in Cambridge, England nutzt die Anlagen des PSI seit 2003 für seine Forschung. Er erhielt 2009 den Nobelpreis für Chemie gemeinsam mit Thomas A. Steitz, Yale University, New Haven, USA und Ada E. Yonath, Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel für seine Arbeiten zur Bestimmung der Struktur und Funktion von Ribosomen, komplexen Molekülen, die dafür sorgen, dass der in der DNA gespeicherte Bauplan des Lebens in Proteine übersetzt wird.

Dr. Ramakrishnan, einige Teile der Forschung, für die Sie den Nobelpreis erhielten, führten Sie an der SLS des PSI durch. Warum kamen Sie ans PSI?

Die Proteinkristallografie-Strahllinie zählt zu den besten weltweit, was einfache Nutzung, Stabilität und Intensität betrifft. All das in Kombination mit dem

Pilatus 6M Detektor, der die Messungen aufzeichnet, bringt uns hervorragende Daten.

Was konnte Ihre Forschung am PSI zu Ihren Ergebnissen beitragen?

Einer unserer entscheidenden Erfolge war die Bestimmung der Struktur des kompletten 70S Ribosoms mit sehr hoher Auflösung, die wir 2006 veröffentlicht haben und die einer unserer grössten Durchbrüche war. Daneben bestimmten wir auch mehrere wichtige Strukturen wie diejenige mit einem Release-Faktor* und die des ersten Ribosom-gebundenen GTPase Faktors, einer Art molekularem Schalter.

Was ist Ihre nächste Herausforderung in der Ribosomenforschung und was kann das PSI dazu beitragen?

Wir möchten die Translokation verstehen, den Vorgang, bei dem Proteine während ihrer Herstellung in die Hülle

einer Zelle eingebaut werden, sowie die Initiation, einen komplizierten Mechanismus, mit dem die Herstellung eines Proteins eingeleitet wird. Dazu brauchen wir aber erst neue Kristallformen. Ausserdem würden wir gerne Ribosomen aus anderen Bereichen als nur dem der Bakterien angehen.

Gibt es etwas, das Sie am PSI besonders schätzen?

Die PSI-Wissenschaftler waren stets hilfsbereit und haben uns wirklich professionell unterstützt, bei komplizierten Projekten die besten Daten zu bekommen. Technische Probleme wurden jeweils schnell gelöst. Neben der eigentlichen Strahllinie ist dies vielleicht der wesentliche Grund, ans PSI zu kommen.

*Release-Faktor: Auf der DNA sind die Informationen für verschiedene Proteine aneinandergereiht «aufgeschrieben». Der Release-Faktor ermöglicht es dem Ribosom zu erkennen, wann die Information für ein Protein zu Ende ist, wann es also aufhören muss, an diesem Protein zu bauen.

Vom Urknall zur Magnetfeld-Fotografie

«Best Thesis Medal 2009» für Doktorarbeit in Grundlagenphysik

Das Paul Scherrer Institut hat 2009 erstmals einen Preis für die beste Dissertationsarbeit ausgeschrieben, die massgeblich an einer der drei PSI-Grossanlagen SLS, SINQ oder SpS entstanden ist. Die «PSI Thesis Medal» wird von nun an jährlich verliehen, im einen Jahr für Arbeiten an den PSI-Grossforschungsanlagen und im folgenden Jahr für Arbeiten auf dem Gebiet der Energieforschung. Der Preis wird international vergeben und besteht aus einer Medaille, einem Zertifikat und einem Preisgeld von 5000 Franken. Die Verleihung findet am PSI statt, wo der Preisträger vor einem Fachpublikum seine Resultate vorstellt.

Ein PSI-internes Gremium unter der Leitung von Friso van der Veen hat als ersten Gewinner Florian M. Piegsa ausgezeichnet. Piegsa, ein echter Münchner, hat an der TU München bei Professor Oliver Zimmer promoviert. Seine Experimente hat er jedoch während mehrerer Jahre am PSI an Strahllinien der Neutronen-Spallationsquelle SINQ durchgeführt. Dabei wurde er von Ben van den Brandt und seiner PSI-Forschungsgruppe «Probenumgebung und Polarisierte Targets» betreut.

Florian Piegsa hat im Rahmen seiner Doktorarbeit einen Parameter genauer bestimmt, der beschreibt, wie sich die Richtungen der Rotationsachsen von Neutronen beim Flug durch eine 5 mm grosse Deuteriumprobe verändern. Jeder Kern der in dieser Probe enthaltenen Deuteriumatome besteht aus einem Proton und einem Neutron, die mit den vorbeifliegenden Neutronen wechselwirken und so deren Rotationsachsen beeinflussen. Der mit diesen Experimenten untersuchte

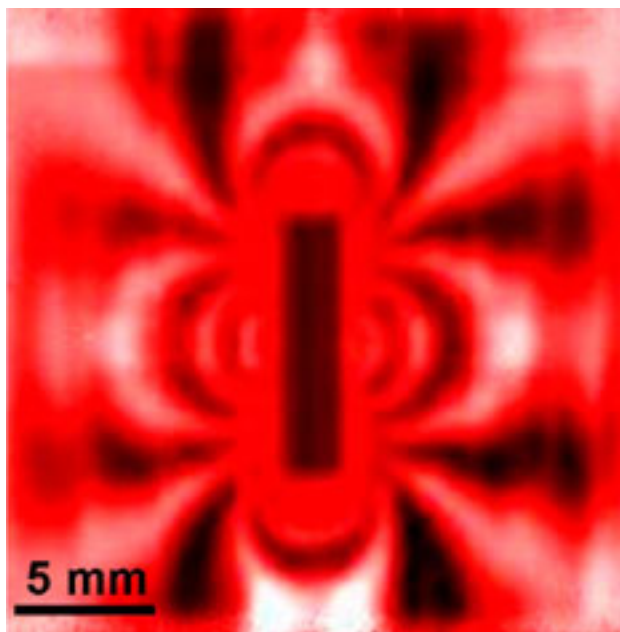


Bild des magnetischen Dipolfeldes in der Umgebung eines 9 mm langen ferromagnetischen Stahlstiftes, aufgenommen mit der am PSI entwickelten, neuartigen Neutronen-Spinphasen-Abbildungstechnik. (Phys. Rev. Lett. **102** (2009) 145501).

Parameter ist wichtig um zu verstehen, welche Elementarteilchen es nach dem Urknall gab und wie sich aus ihnen zuerst leichte und später die schwereren Elemente gebildet haben.

Das Experiment wurde hauptsächlich an der Neutronenstrahllinie FUNSPIN durchgeführt, bei der die Rotationsachsen der Neutronen durch ein vorgegebenes Magnetfeld parallel zueinander ausgerichtet werden. Die Situation ähnelt derjenigen eines sich auf einem Tisch drehenden Kreisels, wobei die Schwerkraft an die Stelle des Magnetfeldes tritt. Die Physiker nennen die Neutronen-Rotation «Spin», weil es sich um eine theoretische Grösse handelt, die man sich nur näherungsweise als Rotation im alltäglichen Sinn vorstellen kann. Sind alle Spins in einem Strahl parallel zueinander ausgerichtet, spricht man von einem «polarisierten» Strahl. Mit einem starken Magnetfeld wird auch die bestrahlte Deuteriumprobe polarisiert. Damit die thermischen Zitterbewegungen die parallele Ausrichtung der Deuterium-Spins nicht zerstört, wird die Probe auf eine sehr tiefe Temperatur (0,1 Grad über dem absoluten Nullpunkt von $-273,15\text{ °C}$) abgekühlt. Da jeder Deuterium-Spin ein kleines Magnetfeld erzeugt, werden die durch die Probe fliegenden Neutronen durch ein entsprechendes Magnetfeld-Muster beeinflusst. Wie die senkrecht stehende Achse eines Kreisels nach leichtem Antippen anfängt zu präzedieren, machen auch die Neutronenspins Präzessionsbewegungen, wenn sie durch das erwähnte Magnetfeld-Muster gestört werden.

Florian Piegsa hat sehr präzise gemessen, wie sich die Drehzahl dieser pirouettenartigen Bewegung der Neutronen beim Flug durch die Deuteriumprobe veränderte. Mithilfe der aus den 1950er-Jahren stammenden Ramsey-Methode konnte er kleinste Veränderungen messen und damit den erwähnten theoretisch bedeutsamen Parameter genauer bestimmen. Wichtig und neu war bei diesen Experimenten die aus Deuteriumatomen bestehende polarisierte Probe. Florian Piegsa hat damit das «Dreikörperproblem» studiert. Eine Wechselwirkung zwischen nur zwei Teilchen wird durch heutige Theorien exakt beschrieben. Sind jedoch drei oder mehr Teilchen im Spiel, wird eine entsprechende Theorie wesentlich komplizierter und schwieriger. Mithilfe des genauer gemessenen Parameters kann nun die Wechselwirkung zwischen drei Teilchen wesentlich genauer berechnet werden. Über seine Arbeit befragt, meint der frischgebackene Doktor: «Es ist schon faszinierend, dass wir mit der auf 0,1 Grad über den absoluten Nullpunkt gekühlten Deuteriumprobe herausgefunden haben, wie sich im unvorstellbar heißen Anfangsstadium des Kosmos die ersten Elemente gebildet haben. Da heute das Universum auf 2,7 Grad über dem absoluten Nullpunkt abgekühlt ist, ist unsere Deuteriumprobe kälter als jede andere Stelle im Universum!»

Während dieser Neutronen-Deuterium-Experimente kam die Gruppe auf die Idee, die Ramsey-Resonanzmethode auch in der Neutronen-Radiografie zu nutzen. So entstand am PSI die neue Technik der Neutronen-Spin-



Florian Piegsa erhält die «Best Thesis Medal 2009» von Friso van der Veen, Bereichsleiter Synchrotronstrahlung und Nanotechnologie.

phasen-Abbildung. Diese ermöglicht es, mit langsamen (kalten) polarisierten Neutronen Magnetfelder in ferromagnetischen Materialien zu «fotografieren». Ferromagnete wie Eisen können magnetisiert werden, wobei sich ganze Bereiche mit parallel ausgerichteten Spins bilden. Die neue Methode erlaubt es, diese Bereiche direkt und quantitativ abzubilden. Es wird sich zeigen, ob dies die Entwicklung neuartiger Speichermedien oder

Supraleiter beschleunigt. Für Doktorandenbetreuer von den Brandt ist die prämierte Dissertation jedenfalls ein schönes Beispiel, wie Methoden aus der Grundlagenforschung auch in der Praxis nützen.

Originalveröffentlichung:

Neutron spin precession in samples of polarised nuclei and neutron spin phase imaging; Florian M. Piegsa; Diss. TU München, 2009.

Vermischtes

Das Paul Scherrer Institut ist eine Forschungseinrichtung der Schweizerischen Eidgenossenschaft und wird zum grossen Teil aus Steuereinnahmen finanziert. Aus diesem Grunde ist es uns ein Anliegen, der Öffentlichkeit in Form von Leistungen zurückzugeben, was wir von ihr erhalten. Was für Leistungen dies – über unsere Forschungstätigkeiten hinaus – sind und wie wir dazu im Dialog mit Wirtschaft, Bildung und Politik stehen, erfahren Sie auf den nächsten Seiten.





In Krisen Köpfe kennen

Die PSI-Betriebsfeuerwehr betreibt Wissenstransfer mit der Nachbarschaft

Den 10. Juli 2003 wird Roger Schneider, damals Vizekommandant der PSI-Betriebsfeuerwehr, nicht mehr vergessen: Ein in Grenchen gestartetes Kleinflugzeug stürzt brennend in ein Maisfeld auf Würenlinger Gemeindegebiet. Zusätzlich zur Ortsfeuerwehr Würenlingen wird auch die Feuerwehr des Paul Scherrer Instituts alarmiert. «Weil die Pumpe des Würenlinger Tanklöschfahrzeuges während des Einsatzes einen Defekt erlitt, mussten wir

das brennende Flugzeug mithilfe des PSI-Tanklöschfahrzeugs löschen», berichtet Roger Schneider. «Dieser Unglücksfall war für uns sehr belastend. Beim Flugzeug herrschte eine infernalische Hitze, und für unsere Feuerwehrleute war es das erste Mal, dass sie bei einem Brand mit Todesopfern im Einsatz standen.»

Tragische Ereignisse wie der Flugzeugabsturz vom Sommer 2003 mit zwei Todesopfern sind glücklicherweise die Ausnahme im Alltag der PSI-Betriebsfeuerwehr. Dieses Beispiel zeigt indes, dass das Team auch für solche Ausnahmefälle gerüstet ist, dank zielgerichteter, praxisnaher Ausbildung sowie intensiver Zusammenarbeit mit den Ortsfeuerwehren von Villigen und Würenlingen. Über alle Stufen hinweg findet der Austausch mit den Feuerwehren der beiden PSI-Standortgemeinden statt. «Wir führen regelmässig gemeinsame Offiziersübungen durch, bei denen spezielle Gebäude und Objekte in den beiden Dörfern besichtigt werden», führt Feuerwehrkommandant Schneider aus. «In Villigen gibt es zum Beispiel zahlreiche Tiefgaragen, von denen ich vorher nichts gewusst hatte. Oder mit den

Kameraden aus Würenlingen übten wir, wie das Vieh aus einem brennenden Stall getrieben wird.»

Diese Zusammenarbeit kann durchaus als «Wissenstransfer» bezeichnet werden. Regelmässig sind die Villiger und Würenlinger Feuerwehrleute am PSI zu Gast und erweitern hier ihre Orts- und Gebäudekenntnisse. Es geht darum, die neuralgischen Gebäude zu kennen, beispielsweise Experimentiergebäude, in denen durch die Forschung radioaktive Strahlung anfällt. Ein wichtiger Aspekt. Denn bei einem Brandalarm auf dem PSI-Areal nach 17 Uhr und am Wochenende wird automatisch eine der beiden Ortsfeuerwehren aufgeboten. «Wir erhalten diesen Alarm natürlich auch», sagt Roger Schneider, «können aber ausserhalb der Arbeitszeit die Leistungsnormen der Aargauischen Gebäudeversicherung nicht erfüllen.» In den ersten 10 Minuten nach der Alarmierung wären keine PSI-Feuerwehrleute vor Ort, während die Ortsfeuerwehren innert kürzester Zeit mit rund 50 Personen anrücken und den Erstangriff vornehmen.

Auch in umgekehrter Richtung muss im Ernstfall die Zusammenarbeit zwischen den drei Feuerwehren funktionieren. Kommt es in Villigen während des Tages zu einem Ereignis ab Stufe «Brand mittel», wird automatisch auch die PSI-Feuerwehr alarmiert. In Würenlingen erfolgt die automatische Alarmierung des PSI nur bei Ereignissen in grösseren Objekten wie Altersheim, Mühle oder in der Firma Rotho. «Sonst bietet uns der Würenlinger Kommandant je nach Einsatzsituation



Atenschutztrupps der Feuerwehren PSI, Villigen und Würenlingen üben gemeinsam in der Experimentierhalle des PSI.

auf», so Schneider. «Erfreulicherweise haben wir am PSI nur selten Ernstfälle. Dies ist zwar positiv, hat aber zur Folge, dass unseren Feuerwehrleuten die Einsatzerfahrung fehlt.» Daher bringe die Nachbarhilfe den PSI-Feuerwehrleuten gewisse Routine. Zudem gelte der Leitsatz «In Krisen Köpfe kennen.» «Zwar üben wir sehr oft miteinander. Aber der Einsatz, auch wenn es sich meist um kleinere Angelegenheiten handelt, ist etwas anderes als der Übungsdienst.»

Ob gegenseitige Hilfe im Ernstfall, grosse regionale Atemschutzübung oder gemeinsame Übungen für Maschinisten und Chauffeure – die Zusammenarbeit zwischen den drei Feuerwehren hat sich bestens etabliert. Für die im Atemschutz eingeteilten Feuerwehrkräfte aus Villigen und Würenlingen hat sie einen zusätzlichen, wertvollen Aspekt. «Als einzige Angehörige einer Ortsfeuerwehr im Kanton Aargau verfügen sie über eine Strahlenschutz Ausbildung», sagt Roger Schneider. «Sie erhalten eine zweitägige Einführung in die Strahlenschutzwehr.» Im November letzten Jahres haben zwölf Villiger und Würenlinger eine solche Ausbildung absolviert. Diese Feuerwehrleute tragen ein Dosimeter (Messgerät zur Messung der Strahlendosis) in ihrer Brandschutzjacke. Sie wissen, wie sie sich in einer Zone verhalten müssen, in der durch die Forschungsarbeiten radioaktive Strahlung entsteht, und welche Arbeiten im Einsatzfall zu tun sind. Dabei geht es um die ersten fünf bis zehn Minuten, bis ein Kadermann der PSI-Feuerwehr eintrifft und die Leitung des Einsatzes nahtlos übernimmt. «Diese rudimentären Strahlenschutzkenntnisse sind absolut zwingend», hält Schneider fest. «Ausserhalb der Arbeitszeit sind die Ortsfeuerwehren vor uns auf dem Platz. Dürften sie diese Zonen nicht betreten, könnten sie genauso gut zu Hause bleiben.»

«Die Zusammenarbeit mit den beiden Ortsfeuerwehren funktioniert gut bis sehr gut», lautet das Fazit von Feuerwehrkommandant Schneider. «Zwar treffen



In Riedikon bei Uster erleben die Angehörigen der PSI-Feuerwehr eine «heisse» und praxisnahe Ausbildung in Sachen Brandbekämpfung.

bisweilen unterschiedliche Meinungen und Kulturen aufeinander, aber daraus lässt sich stets etwas Positives mitnehmen. Gegenseitig werden Ideen eingebracht, die man übernehmen und in die Ausbildung oder die Einsatzführung integrieren kann.» Im Endeffekt sei es so, dass für die Erfüllung der wichtigen Sicherheitsaufgaben

jeder den anderen brauche und letztlich alle Beteiligten profitierten. Grundlage dafür ist das regelmässige gemeinsame Üben und der Umstand, dass sich in der Krise die Köpfe bereits kennen.

Ausgezeichnete Forschung

Preise für Arbeiten aus dem PSI

An einer bedeutsamen Entdeckung beteiligt zu sein und durch die Veröffentlichung der Ergebnisse in einer angesehenen Zeitschrift die Aufmerksamkeit der Kollegen zu gewinnen, sind wohl die wichtigsten Auszeichnungen für einen Forscher. Und doch freut sich auch jede Wissenschaftlerin über einen Preis, der die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf ihre Forschungsthemen lenkt oder ihre wissenschaftliche Gesamtleistung anerkennt. Fünf sehr verschiedene Preise für Forschende, die mit dem PSI verbunden sind, sollen hier vorgestellt werden.

Die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf ein Thema lenken, kann kein Preis besser als der Nobelpreis, der Inbegriff eines wissenschaftlichen Preises, die Krönung jeder Forscherkarriere. Im Jahr 2009 konnte man sich auch am PSI über einen Nobelpreis freuen – zwar keinen «ganz eigenen», denn er ging nicht an einen PSI-Forscher. Aber unter den drei Chemie-Nobelpreisträgern war ein regelmässiger Nutzer der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS und guter Bekannter zahlreicher PSI-Forscher, der Biochemiker Venkatraman Ramakrishnan. Mit den Kollegen Ada Yonath und Thomas Steitz wurde Ramakrishnan für die Aufklärung von Struktur und Funktion von Ribosomen ausgezeichnet. Wesentliche Ergebnisse hat er an der SLS gewonnen, sodass das PSI nun stolz sein kann, mit seinen Forschungsanlagen einen Nobelpreis ermöglicht zu haben (mehr dazu auf Seite 56).

Beste Doktorarbeit

Doch ist ein zukünftiger Nobelpreis sicher nicht Voraussetzung für Messzeit am PSI und eine Preisverleihung muss nicht unbedingt vom Händedruck des schwedischen Königs begleitet sein, damit sie Freude macht. Und so zeigte sich der junge Physiker Florian Piegsa erfreut, als er aus den Händen von Bereichsleiter Friso van der Veen die erstmals verliehene PSI Thesis Medal empfangen konnte (s. Seite 58), die von nun an alle zwei Jahre für die beste Doktorarbeit verliehen wird, für die an den PSI-Grossanlagen Messungen durchgeführt worden sind.

Piegsa hat für seine Arbeit an der Neutronenspallationsquelle SINQ experimentiert und dabei Ergebnisse erzielt, die in vielen scheinbar fernen Gebieten der Physik von Nutzen sein können: Sie können helfen zu verstehen, wie die chemischen Elemente beim Urknall entstanden sind und heute im Inneren der Sterne entstehen. Und zugleich ermöglichen sie es, Magnetfelder im Inneren von Materialien abzulichten, was helfen könnte, neue magnetische Speicher zu entwickeln.

Jugend forscht – erfolgreich

Dass man das Physikstudium noch vor sich haben und auf dem Gebiet dennoch Erstaunliches leisten kann, zeigte Damian Steiger. Der Kantonsschüler aus Wattwil beschloss, angeregt durch einen Besuch am PSI kurzer-



Der Maturand Damian Steiger mit seinem Zyklotron im Tischformat.



Die PSI-Forscher Samuel Stucki (r.) und Serge Biollaz (l.) sowie der PSI-Beauftragte für Technologietransfer Alfred Waser nehmen den Watt d'Or entgegen. Die Trophäe ist eine grosse Schneekugel.

hand, einen Teilchenbeschleuniger im Tischformat zu bauen. Für das Ergebnis wurde er beim Wettbewerb Schweizer Jugend forscht mit dem Prädikat «hervorragend» ausgezeichnet. Der Beschleuniger bringt Protonen auf eine Geschwindigkeit von rund 3 000 000 Meter pro Sekunde (10 800 000 km/h), also auf rund einen Hundertstel der Lichtgeschwindigkeit. Der Beschleuniger ähnelt in seinem Aufbau dem ersten Beschleuniger dieses Typs, dem in den 1930er-Jahren vom amerikanischen Physiker Lawrence gebauten Zyklotron. Dabei war Steigers Beschleuniger nicht einfach nachgeahmt. Insbesondere bei den elektronischen Komponenten entwickelte er vieles völlig neu.

borleiter am PSI und Professor an der ETH Zürich forscht er an Möglichkeiten, mithilfe hoch konzentrierter Sonnenenergie Brennstoffe wie Wasserstoff zu erzeugen – oder sogar flüssige Treibstoffe, die man ähnlich wie Benzin einsetzen könnte. «Solare Brenn- und Treibstoffe machen es möglich, Kraftwerke, Fahrzeuge und Betriebe der chemischen Industrie mit umweltfreundlicher Energie zu versorgen und leisten damit einen Beitrag zur Lösung der Klimaproblematik», betont Steinfeld die Motivation für seine Arbeit.

Für sein vielfältiges Engagement für die erneuerbaren Energien durch eigene wissenschaftliche Arbeit, durch Ausbildung und durch seine Arbeit als Heraus-

geber einer wissenschaftlichen Zeitschrift hat Steinfeld den Yellott Award des amerikanischen Ingenieursverbandes ASME erhalten.

Joachim Grillenberger, Leiter der Sektion Protonenanlagen des PSI, hat den jungen Forscher bei seiner Arbeit intensiv unterstützt. Steiger hat inzwischen angefangen, an der ETH Zürich Physik zu studieren. Man kann gespannt sein, was er auf die Beine stellt, wenn er sich erst voll auf die Physik konzentrieren kann.

Brennstoff aus Sonnenenergie – amerikanische Auszeichnung für PSI-Forscher

Auf ein umfangreiches wissenschaftliches Werk kann Aldo Steinfeld zurückblicken. Als La-

Das goldene Watt für Erdgas aus Holz

Mit umweltfreundlicher Energiegewinnung hat ein weiterer Preis zu tun, den PSI-Forscher Anfang Januar entgegennehmen durften: der Watt d'Or – Die Auszeichnung für Bestleistungen im Energiebereich – in der Kategorie «Energietechnologien», der jährlich vom schweizerischen Bundesamt für Energie verliehen wird. Erhalten hat den Preis das Forschungsteam um Samuel Stucki und Serge Biollaz vom PSI-Labor für Energie und Stoffkreisläufe, zusammen mit Kollegen der Technischen Universität Wien und zweier kommerzieller Unternehmen für ein Verfahren, mit dem man aus Holz künstliches Erdgas erzeugen kann, das in öffentliche Gasleitungen eingespeist werden kann.

Die Erzeugung von Gas aus Holz macht es möglich, die Vorteile der Energie aus Holz zu nutzen und die Nachteile zu vermeiden: Man erhält einen CO₂-neutralen Energieträger, der sauber verbrennt und für unterschiedlichste Zwecke einsetzbar ist. Dabei steht in der Schweiz genug Energieholz zur Verfügung, um einige Prozent des Energiebedarfs zu decken. Kurz vor der Preisverleihung im Januar 2009 lieferte eine Testanlage im österreichischen Güssing erstmals künstliches Erdgas in grösseren Mengen. Eine Leistung, die auch in Österreich wahrgenommen wurde. Dort wurde das Projekt mit dem Schweighofer-Preis ausgezeichnet, dem Europäischen Innovationspreis für Forstwirtschaft, Holztechnologie und Holzprodukte.

Non scholae, sed vitae discimus

Wissensvermittlung direkt an die Gesellschaft

«Nicht für die Schule, sondern für das Leben sollen wir lernen.» Dieses abgewandelte Zitat des römischen Philosophen Seneca wird am PSI mit Leben erfüllt: Neben der eigentlichen Forschungstätigkeit vermittelt das PSI Wissen direkt an unterschiedlichste gesellschaftliche Gruppen.

«Was machen die am Paul Scherrer Institut eigentlich?» Wenn Wissenschaftler sich diese Frage stellen, recherchieren sie im Internet in Fachdatenbanken nach entsprechenden Fachpublikation der PSI-Forscher. Wenn interessierte Bürgerinnen und Bürger sich diese Frage stellen, führt der einfachste Weg direkt ans PSI, wo sie sich vor Ort ein Bild vom Forschungsbetrieb machen können.

462 Gruppen aus der ganzen Schweiz wählten 2009 diesen Weg, 12 % mehr als im Vorjahr. Was macht den Besuch am PSI so attraktiv? «Das Angebot, Forschung live auf einem Rundgang zu erleben, ist schweizweit einzigartig», meint Sandra Ruchti, Leiterin des PSI-Besucherdienstes. Aber auch die Besucherführer – ca. 100 Mitarbeitende des PSI, die als Wissenschaftler, Ingenieur oder Techniker am PSI tätig sind, leisten ihren Beitrag. Echte Leidenschaft, andere an ihrer Begeisterung für die Forschung am PSI teilhaben zu lassen, prägt ihre Motivation für diese unentgeltlich erbrachte Zusatzleistung. «Und die kommt rüber, wenn die Besucher in Begleitung der Fachleute ausgewählte Forschungsanlagen und Projekte besichtigen», sagt Ruchti. Unterschiedlichste gesellschaftliche Gruppen sind

auf den Besichtigungstouren durch den Campus anzutreffen: Ein Landfrauenverein ebenso wie ein Handwerkerverband, die Forschungsabteilung eines grossen Industrieunternehmens, eine Gruppe von Polizisten oder die Ortssektion einer politischen Partei oder eine Klasse hoch begabter Schülerinnen und Schüler.

Mittendrin im Forschungsgeschehen

Der Besucherdienst, der unter anderem auch für die knifflige Aufgabe zuständig ist, für jede Gruppe zum gewünschten Zeitpunkt einen verfügbaren Besucherführer zu finden, hat 2009 seinen Schwerpunkt auf die Optimierung der Rundgänge gelegt. Fünf Besucherstationen mit Ausstellungsobjekten und Postern machen Forschungsthemen vor Ort in den Forschungshallen und Labors verständlicher und fassbar. Gleichzeitig ist es für die Besuchenden eindrücklich, die reale Forschungsumgebung zu sehen. 2009 wurden zwei neue Besucherstationen aufgebaut, die Forschungsprojekte zur Energieforschung und zu den Anwendungen der Neutronen-Spallationsquelle SINQ beleuchten.

Vor oder nach einem Rundgang können die Besucher das psi forum besichtigen. Dieses Besucherzentrum ist das Portal zur Welt der Wissenschaft am PSI. Die Ausstellung gruppiert sich um vier grosse Herausforderungen: Welche Therapien und Medikamente stehen einer immer älter werdenden Bevölkerung zur Verfügung? Wie stillen wir den Energiehunger einer

wachsenden Erdbevölkerung? Welchen Beitrag leistet die Grundlagenforschung zur Lösung der Zukunftsprobleme? Welche Materialien werden wir in Zukunft nutzen? Mehr als 20 interaktive Exponate zeigen, mit welchen Projekten das PSI nach Lösungen für diese Fragen sucht.

Erster PSI Photo Award

Die Schweizer Bevölkerung soll gut über das PSI informiert sein. Neben bereits interessierten Gruppen will das Institut neue Zielgruppen erschliessen und sie auf das Institut neugierig machen. Mit einem Fotowettbewerb für Amateurfotografen ist dies gelungen. Über 80 Personen nahmen die Forschungsstätte einen Nachmittag lang in den Sucher. Gespannt folgten die Teilnehmenden der Einladung zur Vernissage am 11.11.2009, dem Tag des 11-jährigen Jubiläums des psi forum. Hier erfuhren sie, ob ihr Blick auf die Wissenschaft die 5-köpfige Jury überzeugen konnte. Die beiden Erstplatzierten setzen in ihren Bildern Mensch und Forschung überzeugend in Beziehung. Bilder vom Fotowettbewerb sind unter <http://photo-award.web.psi.ch/> zu finden.

Selber machen macht schlau

«Physik fasziniert mich.» Dieser Aussage dürften bei einer Umfrage wohl die wenigsten Schülerinnen und Schüler zustimmen. Anders sieht es aus nach einem Be-



Ein Besucherführer erklärt einer Gruppe die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS.

such des vor zwei Jahren eröffneten PSI-Schülerlabors iLab. «Über die Hälfte der Jugendlichen finden Physik nach einem Labortag am PSI total spannend», berichtet Schülerlaborleiter Fritz Gassmann erfreut. 105 Klassen kamen 2009 zum Experimentiertag. Mit Versuchen zu Themen, die auch im Alltag präsent sind, verstehen es die Physiker des iLab, die 14- und 15-jährigen Schüler zu faszinieren. In Zweiergruppen können die Schüler selbst Experimente durchführen, die nicht nur einen Alltagsbezug haben, sondern auch wichtige Prinzipien der PSI-Grossanlagen verständlich machen. Diese Anla-

gen – zum Beispiel die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS – werden im Anschluss an den Unterricht besichtigt. Weitere Informationen auf www.ilab-psi.ch.

Umfassendes Ausbildungsangebot

Das PSI bietet Schülern Berufspraktika sowie Maturandenarbeiten an und bildet junge Menschen in 13 Lehrberufen aus. Studierende können Semesterpraktika absolvieren und ihre Bachelor- oder Masterarbeit hier durchführen. Ihnen bietet das PSI auch Sommer- und Win-

terschulen zu spezifischen Fachthemen an. Hochschulabsolventen können am PSI ihre Doktorarbeit durchführen und Promovierte ein Postdoktoranden-Training durchlaufen. An der Strahlenschutzschule des PSI werden Personen ausgebildet, die mit ionisierenden Strahlen umgehen müssen, und die Reaktorschule des PSI bildet Diplom-Techniker für den Betrieb von Kernkraftwerken aus. Darüber hinaus führt das PSI eine Vielzahl von Konferenzen, Kongressen, Tagungen, Workshops und Symposien für das Fachpublikum durch. Eine aktuelle Übersicht findet sich auf www.psi.ch/events/calendar/.

Der Gastgeber

Das PSI – eine Plattform für Wissensaustausch und Dialog

Wissenschaftler und Forscherinnen aus aller Welt, aber auch die Bevölkerung sowie Gäste aus Wirtschaft, Industrie und Politik besuchten 2009 das PSI. Das Forschungsinstitut im Unteren Aaretal zwischen Villigen und Würenlingen beeindruckte mit zukunftsweisenden Projekten, vielfältigen Forschungsthemen und imposanten Grossanlagen.

Physik und Medizin auf einer Leinwand

Ein Konferenzort der besonderen Art erwartete 400 Fachleute anlässlich der 13. SASRO-Jahreskonferenz vom 19. bis 21. März 2009, zu der das PSI eingeladen hatte. Der Kinokomplex Trafo in Baden eignete sich mit seinen Sälen und dem grosszügigen Foyer ausgezeichnet für den wissenschaftlichen Austausch. Das PSI bietet mit seiner Protonentherapie eines der schonendsten Verfahren zur Krebsbehandlung an und konnte an diesem Anlass seine wertvollen Erfahrungen einbringen. In 80 Präsentationen wurden die neusten Entwicklungen in der Radiotherapie vorgestellt, und in der angegliederten Industrieausstellung informierten sich die Gäste an 26 Ständen über die neusten Technologien und Produkte.

Abschiedsbesuch von Regierungsrat Ernst Hasler

Entscheidungsträger aus dem Gesundheitswesen des Kantons Aargau und Vertreter der Krebsliga Aargau haben am 25. März 2009 unter der Leitung von Re-

gierungsrat Ernst Hasler die Protonentherapie am PSI besichtigt. Der Politiker war nicht mehr für eine Wiederwahl angetreten und beendete Ende März seine 10-jährige Amtszeit. 2008 hatte die Aargauer Kantonsregierung dem PSI zum 20-Jahre-Jubiläum einen Förderbeitrag für die Protonentherapie zugesagt. Dank dieser Förderung kann die Therapie am PSI weiterentwickelt und zu einem eigentlichen kleinen Protonentherapie-Ambulatorium erweitert werden. Die Besichtigung der Therapieanlagen fand grossen Anklang und bot den interessierten Besuchern viel Gesprächsstoff.

Innovationsimpulse für die Wirtschaft

Um eine Plattform für die Kooperation mit der Industrie zu schaffen, führte das Paul Scherrer Institut am 4. Mai 2009 einen Industrietag für den geplanten Röntgenlaser SwissFEL durch. 130 interessierte Unternehmen folgten der Einladung von PSI, economiesuisse und Swissemem. Bei 8 Fachreferaten konnten sie sich über die technologischen Herausforderungen dieses Projekts informieren und sich mit Vertretern des PSI über Kooperationsmöglichkeiten unterhalten. Der SwissFEL ist ein wesentlicher Teil der strategischen Ausrichtung des PSI und wird dem Forschungsstandort Schweiz auf Jahre eine Spitzenposition sichern. Die Schweizer Industrie ist eingeladen, sich am Bau der neuen Hightech-Anlage zu beteiligen, denn viele der dazu benötigten Fachkompetenzen sind in der Schweiz vorhanden.

Auf dem Marktplatz der Berufsbildung

Mehr als 1200 Personen besuchten das PSI am Sonntag, 21. Juni. Die Lernenden hatten auf dem Platz vor der OASE und dem Besucherzentrum psi forum bunte Marktstände aufgebaut und präsentierten ihre Lehrberufe den vor der Berufswahl stehenden Jugendlichen. Auch die Erwachsenen hatten viele Fragen und interessierten sich lebhaft für das Thema. Neben den Informationen zur Berufsausbildung und der Besichtigung von Werkstätten, Labors und Büros besuchten die Gäste das 2008 eröffnete Schülerlabor iLab und das psi forum mit seinen Experimenten und dem 3-D-Film.

Antrittsbesuch des Gesamtregierungsrates

Der vollzählige Aargauer Regierungsrat, erst seit April in neuer Zusammensetzung im Amt, kam am 1. Juli 2009 zu einem Besuch ans PSI. Landammann Roland Brogli, Landstatthalter Peter C. Beyeler, Regierungsrätin Susanne Hochuli, die Regierungsräte Urs Hofmann und Alex Hürzeler sowie Staatsschreiber Peter Grünenfelder drückten damit dem PSI ihre besondere Wertschätzung aus. Der Regierungsrat würdigte das enorme Potenzial des PSI für den Wissenschafts- und Wirtschaftsraum Schweiz, ebenso wie die Anziehungskraft, die der Kanton Aargau damit auch international für hoch qualifizierte Arbeitsplätze und Spitzentechnologie ausweisen kann. PSI-Direktor Joël Mesot und sein Team führten die



Hohe Politik am PSI: Bundesrätin Doris Leuthard stellt dem ägyptischen Industrieminister Rachid Mohamed Rachid PSI-Direktor Joël Mesot vor.

Gäste durch die einzigartigen Grossanlagen des Instituts und stellten ihnen unter anderem das neue Grossprojekt SwissFEL vor.

Schweizer Bundesrätin und ägyptischer Industrieminister zu Besuch

Ein von der Kantonspolizei begleiteter Konvoi fuhr am Montagnachmittag, 19. Oktober, beim Paul Scherrer Institut vor. Die Wirtschaftsministerin, Bundesrätin Doris Leuthard besuchte das Institut in Begleitung des ägyptischen Industrieministers Rachid Mohamed Rachid. In

der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS wurde den Gästen die Forschung im Bereich Proteinkristallografie präsentiert. Nach der Besichtigung der Protonentherapieanlage Gantry 2 und des Solarkonzentrators verabschiedete sich der Minister aus Ägypten, während sich Bundesrätin Leuthard und die Direktionsmitglieder zu Gesprächen zurückzogen.

«Forschung live erleben»

Dass Wissenschaft und Forschung auch bei der Bevölkerung auf grosses Interesse stossen, zeigt der Erfolg der

Vortragsreihe «Forschung live erleben». Die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS, die Krebsbehandlung mit Protonen, Filme von tanzenden Atomen und weitere spannende Themen lockten jeweils mehr als 100 Personen an die abendliche Veranstaltung im Auditorium des Paul Scherrer Instituts. Engagierte Wissenschaftler präsentierten ihre Forschung, diskutierten mit der Bevölkerung und beantworteten Fragen. Nach dem Referat wurden die Besucher gruppenweise in die Anlagen geführt, wo die Gäste Physik vor Ort erleben konnten. Die jeden ersten Mittwoch des Monats stattfindenden Vorträge erfreuen sich bereits einer treuen Stammkundschaft.

Hochkarätige Wissenschaftende am PSI

Zwei neue Laborleiter im Porträt

Am PSI arbeiten 1750 Personen aus 55 Nationen. Ehrgeizige wissenschaftliche Projekte setzen hoch qualifizierte Mitarbeiter voraus. Stellvertretend für die vielen hervorragenden Berufsleute, Ingenieure und Wissenschaftler, die hier tätig sind, stellen wir zwei Personen vor, die 2009 Laborleiter am PSI wurden. Andreas Türler ist 2009 neu ans PSI gekommen. Klaus Kirch hat schon vorher am PSI gearbeitet. Beide haben eine sogenannte gemeinsame Professur mit einer Schweizer Hochschule inne. Auf diese Weise intensiviert das Paul Scherrer Institut seine Beziehungen zu den Hochschulen.

Andreas Türler Leiter des Labors für Radio- und Umweltchemie

«Die Interdisziplinarität am PSI erfordert, dass wir alle uns ständig mit völlig unterschiedlichen Fachgebieten auseinandersetzen. Nur so werden künftig grosse Durchbrüche möglich sein», beantwortet Andreas Türler die Frage, warum er ans Paul Scherrer Institut gekommen sei. Seit August 2009 ist er hier Leiter des Labors für Radio- und Umweltchemie.

Schon während seines Studiums an der Uni Bern pflegte er enge Kontakte mit dem PSI. Da lag es nach einer Zwischenstation als Postdoc am Lawrence Berkely Laboratory nahe, am PSI eine Stelle als wissenschaftlicher Mitarbeiter anzunehmen. Türler blieb neun Jahre.

Dann folgte er dem Ruf als Professor ans Institut für Radiochemie der Technischen Universität München. In

den fast sieben Jahren in Bayern entwickelte er Radionuklide, die eine Firma seitdem für die Tumorthherapie vermarktet. Er leitete auch die dringend nötige bauliche Sanierung des stark veralteten Institutes ein. Doch litt er unter der immensen Bürokratie, die die Institutsleitung und Sanierung unnötig erschwerte. Wie wohl jeder Forscher zieht es der Radiochemiker vor, ein spannendes Experiment zu verfolgen, statt administrative Arbeiten zu erledigen.

Nun hat er seine Traumstelle schlechthin: Laborleitung am PSI, kombiniert mit einem Lehrstuhl an der Universität Bern. Er freut sich auf die Lehre in Bern und die Forschung am PSI. «Hier findet man eine Infrastruktur vor, die man sonst nirgendwo bekommt. Nicht nur die Geräte sind exzellent, auch die Dienstleistungen und Werkstätten. Das gibt es in diesem Umfang und dieser Qualität nirgendwo sonst.»

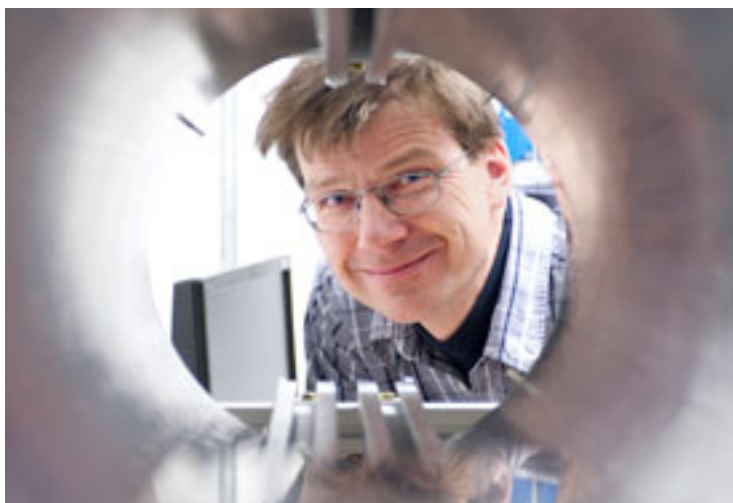
Am PSI will er dem nachgehen, was er seine «berufliche Leidenschaft» nennt: Dem Experimentieren mit superschweren Elementen mit Ordnungszahlen von 104 oder grösser, also mit mindestens 104 Protonen im Kern. Sie müssen künstlich erzeugt werden, denn ihre Atomkerne zerfallen wegen der abstossenden Kraft zwischen den Protonen in wenigen Millisekunden. In den letzten Jahren gelang es vor allem Physikern in Russland, neue Elemente herzustellen, die man nun erstmals chemisch untersuchen kann. Türler ist begeistert: «Das ist für die Forschung ein historischer Moment. Und wir können dabei sein!» Künftig möchte er sich zudem der Entwick-



Andreas Türler

lung von Radionukliden für die Tumorthherapie zuwenden und dieses Gebiet in der Schweiz etablieren.

Der Radiochemiker ist nicht nur ein ehrgeiziger Forscher und beharrlicher interdisziplinärer Netzwerker. Er freut sich auch darauf, am PSI von den erfahrenen Mitarbeitenden seiner Labors Neues dazuzulernen, etwa in der Umweltchemie und bei der Untersuchung der Beschleunigerabfälle, des sogenannten «Beamdump». Denn in den PSI-Beschleunigern entstehen exotische Radionuklide, von denen teilweise selbst die Halbwertszeit unbekannt ist.



Klaus Kirch

Klaus Kirch
Leiter des Labors für Teilchenphysik

«Die Teilchenphysik ist meine grosse Leidenschaft.» Wenn Klaus Kirch das sagt, glaubt man ihm sofort. Kirch hat in Köln studiert und sich schon zur Vordiplomszeit vor allem für Kernphysik interessiert. Promoviert hat der vierfache Vater am Paul Scherrer Institut. Er kam im Jahr 2001 nach Zwischenstationen an der ETH und in Los Alamos (New Mexico), wo er bereits mit ultrakalten Neutronen experimentierte, wieder hierher zurück.

Im Oktober 2009 wurde er zum Laborleiter ernannt und gleichzeitig Professor für Teilchenphysik an der ETH. So kann er einen lang gehegten Wunsch verwirklichen und seine Forschung mit der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses noch besser verbinden.

Seit neun Jahren ist er am PSI mit Konzeption und Bau der intensivsten Quelle ultrakalter Neutronen weltweit beschäftigt, der Ultra Cold Neutron Source UCN.

«Was wir hier bauen, wird ein Juwel – einmalig auf der Welt», berichtet Kirch begeistert. Geht alles glatt, kann die UCN 2010 in Betrieb gehen. Ultrakalt müssen die Neutronen sein, weil man sie dann sehr lange aufbewahren und ihre Eigenschaften entsprechend präzise beobachten kann. «Gewöhnlich verschwinden Neutronen nach Millisekunden aus unseren Messgeräten – hier können wir sie 15 Minuten verwahren.» Die Forscher erhoffen sich so neue Erkenntnisse über die Naturkräfte und das frühe Universum.

«Ich finde es faszinierend, mit scheinbar einfachen und alltäglichen, aber in Wirklichkeit durchaus exotischen Teilchen wie Neutronen Fragen anzugehen, von denen viele glauben, man könnte sie nur mit dem Einsatz extremer Energien beantworten», so Kirch. So extremen Energien, wie sie etwa am CERN in Genf erzeugt werden. Dort kommen auch die einzigartigen Fähigkeiten im Detektorenbau zum Tragen, die ein weiteres Markenzeichen des Teilchenphysik-Labors sind. Hat doch die Hochenergiephysikgruppe mit dem Siliziumpixel-detektor eines der anspruchsvollsten Systeme für den CMS-

Detektor am LHC gebaut, einem der Grosseperimente am CERN. Dort will man versuchen herauszufinden, warum Materie überhaupt eine Masse hat. Dieser Detektor sei, erklärt Klaus Kirch, ein Beispiel für viele Teilchenphysikentwicklungen, deren Spin-offs in anderen Bereichen am PSI und in der Fachwelt Beachtung finden.

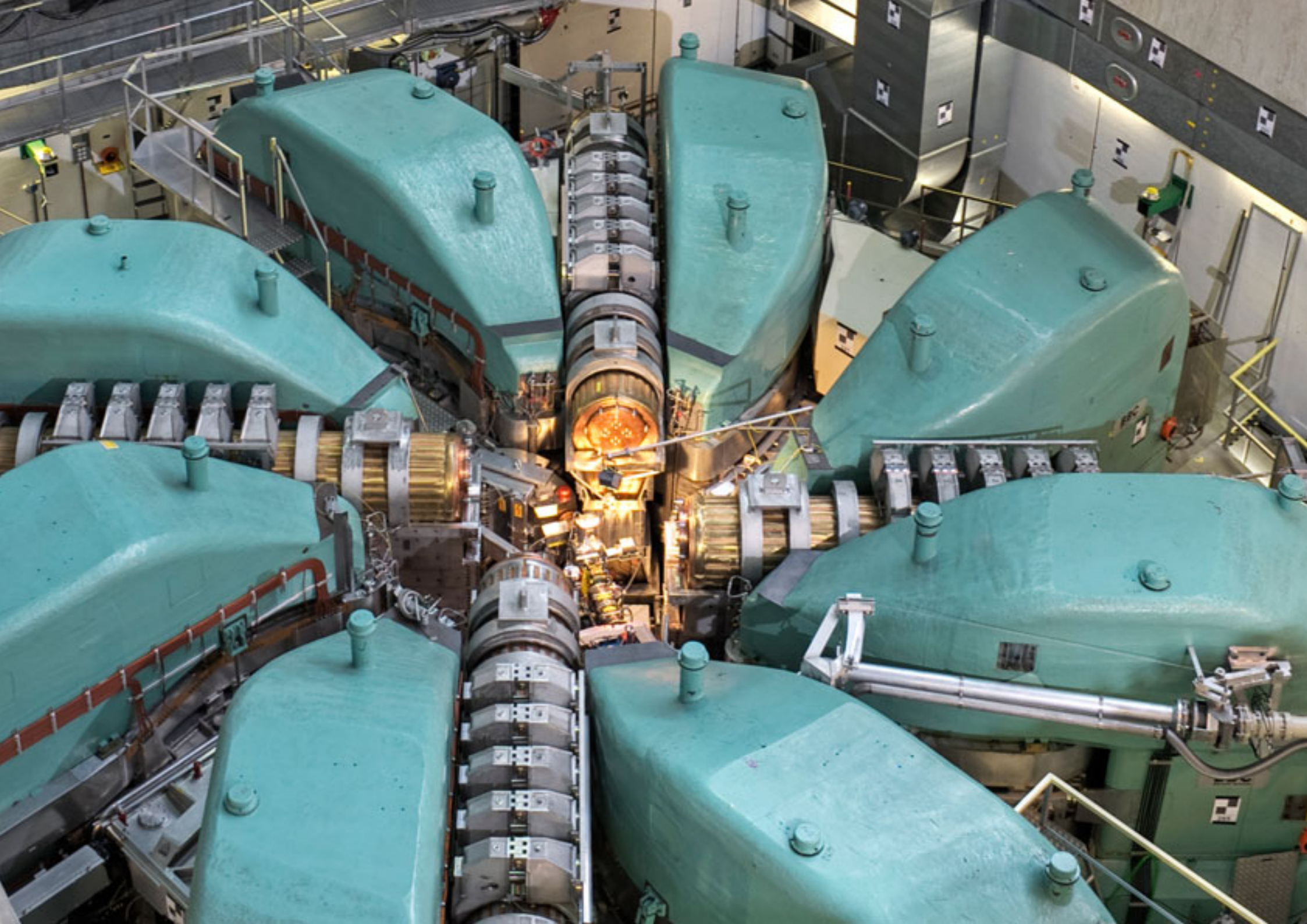
Ähnlich fundamentale Fragestellungen untersuchen Kirch und seine Mitarbeiter im Labor für Teilchenphysik auch mit den weltweit stärksten Myonenstrahlen – die sind nämlich auch am PSI.

Trotz all der Spitzentechnologie: Je einfacher das System ist, mit dem sich eine Theorie überprüfen lässt, umso befriedigender ist es für Kirch, der mit Hingabe an seinen «alltäglichen» Neutronen forscht. Und auch weiterhin forschen wird, denn er fühlt sich am PSI sehr wohl: «Ich habe schon an vielen Orten gearbeitet, aber das PSI ist für Wissenschaftler das beste, was ich bisher gesehen habe. Es gibt so viel verschiedenes Know-how hier, erstklassige Werkstätten, hervorragende Techniker sowie regen Austausch – natürlich auch über die Fachgrenzen hinaus.» Egal auf welches praktische Problem man stosse, meist finde man hier jemanden, der schon irgendwann damit zu tun hatte, freut sich der leidenschaftliche Teilchenphysiker.

Anhang

Gute Forschung braucht gute Leute. Aber gute Forschung braucht auch ein Budget und im Hintergrund eine effiziente Organisation und Administration. Auf den nächsten Seiten zeigen wir, wer die Menschen sind, die am PSI arbeiten, wie sich das Budget des PSI zusammensetzt, wie es verteilt wird und wie das PSI organisiert ist.





PSI im Überblick

Statistik und Organisation

Ausgaben 2009

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

Die Finanzen des PSI (in Mio. Franken) 2009		
Ausgaben		
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 kommen 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 7 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



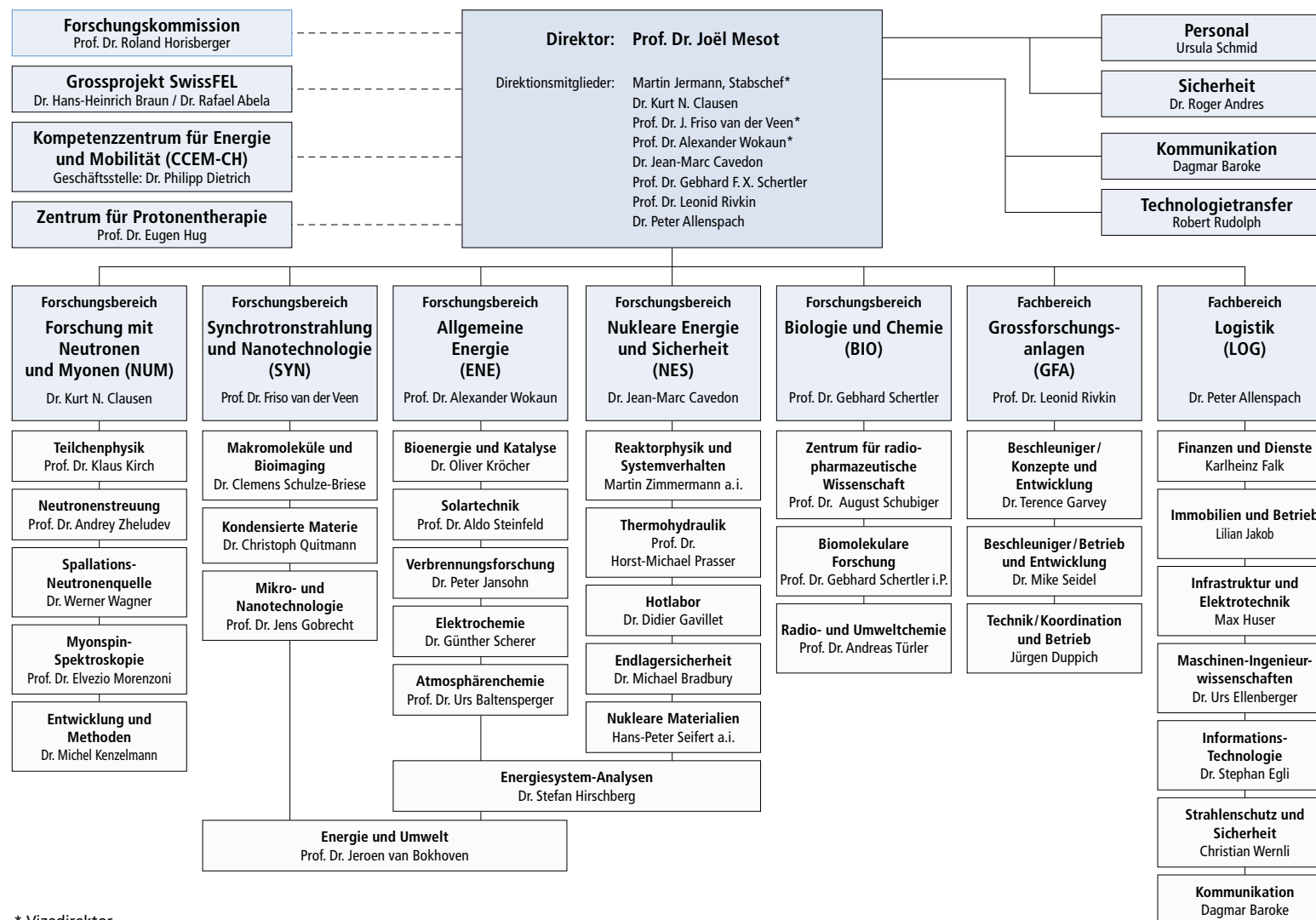
2009 haben mehr als 80 PSI-Forscher an einer Hochschule unterrichtet. Über 300 Doktorierende wurden am PSI bei ihren Forschungsarbeiten betreut.

Spitze der Direktor des Instituts steht und dem der Stabschef und die Bereichsleiter angehören.

Kompetenzzentrum für Energie und Mobilität

Eine Besonderheit am PSI ist das Kompetenzzentrum Energie und Mobilität CCEM. Der ETH-Rat hat dieses Kompetenzzentrum 2006 ins Leben gerufen und unter die Federführung des PSI gestellt. Durch Forschung und Entwicklung soll es zu einem nachhaltigen Gesamtenergiesystem beitragen. Die Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf die Entwicklung von Technologien für eine effiziente Energieversorgung, eine emissionsarme Energieumwandlung und den Ersatz fossiler Energieträger durch CO₂-arme Primärenergien. Das CCEM bündelt die Forschungskompetenzen des ETH-Bereichs – namentlich des PSI, der ETH Zürich, der ETH Lausanne und der Empa sowie der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW). Die Arbeiten werden in enger Kooperation mit der Industrie sowie weiteren Fachhochschulen und Uni-

Organigramm PSI, Stand 1. Januar 2010



* Vizedirektor

versitäten durchgeführt. Im Jahr 2009 hatte das CCEM eine besondere Gelegenheit, seine Arbeit einer breiten Öffentlichkeit zu präsentieren: Rund 3000 Personen besuchten das Informationszelt des CCEM am WestFest, der Einweihungsfeier der Zürcher Westumfahrung.

Forschungskommission

Die Forschungskommission FoKo des Paul Scherrer Instituts berät die Direktion bei wissenschaftsrelevanten Entscheidungen. Sie beurteilt geplante neue Vorhaben und Finanzierungsanträge an externe Geldgeber, 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 die Plenar-FoKo, der neben den internen Mitgliedern 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 zu beraten und die Qualität der durchgeführten und der geplanten Forschungsaktivitäten zu beurteilen.

Strategische Forschungskommission

Prof. Dr. Ø. Fischer, Präsident

Prof. Dr. G. Aeppli

Prof. Dr. F. Carré

Prof. Dr. H. H. Coenen

Prof. Dr. R. W. Falcone

Prof. Dr. R. Klanner

Prof. Dr. S. Larsen

Prof. Dr. E. K. M. Leppävuori

Prof. Dr. T. Mason

Prof. Dr. J. Rossbach

Prof. Dr. Th. Sattelmayer

Interne Forschungskommission

Prof. Dr. R. Horisberger, Präsident

Dr. M. Ammann

Dr. B. Delley

Dr. R. Eichler

Dr. I. Mantzaras

Dr. W. Pflingsten

Dr. Th. Schietinger

Dr. M. Steinmetz

Dr. C. Schulze-Briese

Dr. U. Staub

Prof. Dr. H. Van Swygenhoven

Dr. F. Vogel

Dr. P. Hasler, Sekretär

Ständiger Gast

Prof. Dr. Nicholas Spencer

Département de Physique de la Matière Condensée, Université de Genève, CH

Director, London Centre for Nanotechnology UCL, London, UK

Program Director for Future Nuclear Energy Systems,

CEA, Saclay, Gif-sur-Yvette, FR

Institut für Nuklearchemie, Jülich, DE

Director, ALS, Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, USA

Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg, Hamburg, DE

Dept. of Chemistry, University of Copenhagen Copenhagen, DK

President & CEO, VTT Technical Research Centre of Finland, VTT, FI

Director, Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge, USA

Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg, Hamburg, DE

Lehrstuhl für Thermodynamik, Technische Universität München, DE

Forschung mit Neutronen und Myonen (NUM)

Biologie und Chemie (BIO)

Forschung mit Neutronen und Myonen (NUM)

Biologie und Chemie (BIO)

Allgemeine Energie (ENE)

Nukleare Energie und Sicherheit (NES)

Grossforschungsanlagen (GFA)

Biologie und Chemie (BIO)

Synchrotronstrahlung und Nanotechnologie (SYN)

Synchrotronstrahlung und Nanotechnologie (SYN)

Forschung mit Neutronen und Myonen (NUM)

Allgemeine Energie (ENE)

Biologie und Chemie (BIO)

Département Materialwissenschaft ETH Zürich, CH

Impressum

Bildlegenden für ganzseitige Fotos:

Titelbild: Domenico Paladino prüft die Einspritzvorrichtungen mit denen sich die Strömungen und Turbulenzen des Kühlwassers in PANDA aufzeigen lassen.

Seite 3: Luftbildaufnahme des Paul Scherrer Instituts

Seite 9: In der Halle für den Test der ersten Beschleunigungsstufe des SwissFEL

Seite 19: In der Halle der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS

Seite 45: In der Halle der Neutronenspallationsquelle SINQ

Seite 53: In der Laborhalle B für die Energieforschung

Seite 61: Im Hotlabor

Seite 73: Blick auf den grossen Protonenbeschleuniger

Fotoaufnahmen:

Alle Fotos Scanderbeg Sauer Photography, ausser:

S. 3, S. 9, S. 35, S. 73 Markus Fischer

S. 16 links Andy Vowles

S. 16 rechts, S. 17, S. 69, S. 71, S. 74 Frank Reiser

S. 43 Alain Herzog, Quelle: ETH-Rat

S. 59, S. 64, S. 65, S. 67 Bildarchiv PSI

S. 62, S. 63 Betriebsfeuerwehr PSI

Unser wichtigstes Kapital am PSI ist die herausragende Qualifikation, Erfahrung und Motivation unserer Mitarbeitenden. Um dieser, in Neudeutsch «Humanresource» ein Gesicht zu geben, stellen wir Ihnen in diesem Bericht 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.

PSI-Jahresbericht 2009

Herausgeber: Paul Scherrer Institut

Konzeption: Dagmar Baroke und Paul Piwnicki

Autoren: Alexandra von Ascheraden, Dagmar Baroke, Fritz Gassmann, Evelyne Gisler, Martin Jermann, Paul Piwnicki, Frank Reiser, Gerhard Samulat, Andreas Walker

Gestaltung und Layout: Irma Herzog

Bildbearbeitung: Markus Fischer

Lektorat: Evelyne Gisler

Abdruck mit Quellenangabe und Belegexemplar an das PSI erwünscht

Weitere Exemplare zu beziehen bei:

Paul Scherrer Institut

Kommunikationsdienste

5232 Villigen PSI, Schweiz

Telefon +41 (0)56 310 21 11

E-Mail: info@psi.ch

Zusätzlich zum deutschsprachigen Jahresbericht 2009 ist für die Fachwelt der Scientific Report des PSI in englischer Sprache erhältlich. Weitere Informationen über das PSI finden Sie unter www.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

Fritz Gassmann, Telefon +41 (0)56 310 26 47

ilab@psi.ch, www.ilab-psi.ch

Paul Scherrer Institut, April 2010

ISSN 1423-7261

Das Paul Scherrer Institut PSI ist ein Forschungszentrum für Natur- und Ingenieurwissenschaften. Am PSI betreiben wir Spitzenforschung in den Bereichen Struktur der Materie, 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 1300 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.