



PAUL SCHERRER INSTITUT



Fenster zur Forschung



Inhalt

5	Energiestrategie 2050 für die Schweiz
6 / 7	In Kürze: Zelle live Impuls Solarer Zement Präzision
8 / 9	Künstliches Spin-Eis
10 / 11	Europäische Anstrengung
12 – 14	Goldbüste oder rostende Autotür
15 – 17	Warten auf den richtigen Zerfall
18 / 19	Dosiermechanismus gefunden
20 / 21	Die Grossforschungsanlagen des PSI
22 / 23	Das PSI ist ein Nutzerlabor
24 / 25	Die Forschungsschwerpunkte des PSI
26	Das PSI im Überblick
27	Impressum

Sehr geehrte Leserin
Sehr geehrter Leser

Seit mehr als 20 Jahren beschäftigt sich das PSI mit der Entwicklung ressourcenfreundlicher Technologien, namentlich im Energiebereich. Das PSI setzt 30 % seiner Aufwendungen für die Energieforschung ein und ist somit das aktivste Schweizer Forschungsinstitut auf diesem Gebiet.

Der politische Entscheid, bis 2034 aus der Nuklearenergie auszusteigen, stellt enorme Herausforderungen an jeden Einzelnen von uns, an die Gesellschaft, die Industrie aber auch an Forschung und Entwicklung. Grosse Forschungsanstrengungen in Produktion und Speicherung erneuerbarer Energien, Energieeffizienz sowie Optimierung der Gesamtprozesse werden hierfür notwendig sein. Die erforderliche Reduktion an CO₂-Emissionen und der sichere Betrieb der Atomkraftwerke bis zu deren Abschaltung dürfen dabei nicht vergessen gehen. Um die damit verbundenen Fragestellungen umfassend zu behandeln, koordiniert der ETH-Bereich die Forschungsarbeiten an den Institutionen anhand deren individueller Kompetenzen.

Die Herausforderung, 40 % unseres Stroms zu substituieren, kann nur über die gleichzeitige Nutzung mehrerer Technologien erfolgen. Das PSI konzentriert sich auf die Herstellung von Methan aus Biomasse. Die am PSI in der Entwicklung befindlichen Methoden erlauben, je nach Ausgangsstoff, eine bis zu doppelt so hohe Effizienz wie heute kommerziell eingesetzte Systeme.

Energiestrategie 2050 für die Schweiz



Die vorhersehbare Zunahme fotovoltaischer Anlagen und Windturbinen stellt hohe Anforderungen, die damit gewonnene Energie und deren Überschuss an einem sonnigen, windigen Sonntag zu speichern. Pumpspeicherkraftwerke stellen in der Schweiz dafür eine ideale Möglichkeit dar. Ihr Ausbau ist hingegen beschränkt. Das PSI arbeitet deshalb daran, Sonnenenergie zur Produktion von Wasserstoff oder Methan zu nutzen. Der Wasserstoff könnte dann in Kombination mit Brennstoffzellen neben anderem für den Betrieb eines Elektrofahrzeugs genutzt werden.

Die Umsetzung in die Praxis erfordert immer auch deutlich effizientere Produktionsprozesse. Dies kann einerseits über

die Entwicklung und Nutzung neuer Materialien gelingen, andererseits über die Optimierung von Gesamtprozessen, die an Pilotanlagen erprobt werden. Der Übergang von Demonstrations- zu Pilotanlagen verlangt von den Industriepartnern allerdings eine hohe Risikobereitschaft, da damit ein erhebliches finanzielles Engagement verbunden ist. Hier ist letztlich auch die Politik gefordert, die dafür notwendigen Anreize zu schaffen.

Professor Dr. Joël Mesot
Direktor Paul Scherrer Institut

Zelle live

Das Innere einer lebenden Zelle verändert sich ununterbrochen – sie nimmt etwa Stoffe auf und «verdaut» sie oder erzeugt neue lebenswichtige Substanzen. Forscher des PSI haben nun eine Methode entwickelt, mit der sie diese Veränderungen «live» verfolgen und so grundsätzliche Lebensprozesse aufklären können. «Wir können zum Beispiel beobachten, wie schnell und in welcher Reihenfolge sich die Stoffe umwandeln», erklärt Luca Quaroni, der zuzuständige Wissenschaftler.



Vorbereitung eines Experiments an der Infrarotstrahllinie der SLS.

Im Experiment wird die Zelle mit infrarotem Licht durchleuchtet. Der Lichtstrahl enthält Licht vieler «Farben». Jede Substanz nimmt spezifisch Licht ganz bestimmter Farben auf, die schlussendlich im Strahl fehlen. Aus den fehlenden Farben kann man bestimmen, welche Stoffe in der Zelle sind. «Wir können lebende Zellen un-

tersuchen, weil wir an der SLS so brillantes Licht haben. Wenn wir es zusätzlich bündeln, haben wir genug Licht, um die Messungen in kurzer Zeit durchzuführen. Mit konventionellen Lichtquellen müsste man viel länger messen und da würden sich die Zelle zu stark verändern.» So waren solche Untersuchungen bislang nur als «Momentaufnahmen» an getrockneten Zellen gängig. Dass das Verfahren funktioniert, hat Quaroni mit Kollegen jetzt an «Stäbchen» gezeigt – Zellen, die im Auge als Lichtsensoren wirken. Die Forschenden konnten verfolgen, was in der Zelle geschieht, nachdem sie von Licht getroffen wurde. Als Nächstes soll der Stoffwechsel in Zellen untersucht werden.

Impuls

«Impulsiv» – diesen Begriff umschreibt der Duden mit «begeistert, dynamisch, enthusiastisch». Im Verein «PSI-Impuls – Freunde des PSI» haben sich Menschen gefunden, die sich begeistert dafür engagieren, den Austausch zwischen Wissenschaft und Wirtschaft zu stärken. Seit 2002 treffen sich zu diesem Zweck Persönlichkeiten aus Forschung, Wirtschaft und Politik. Aktuell pflegen rund 150 Mitglieder ein Beziehungsnetz, in dem der Verein PSI-Impuls eine Plattform für informellen Austausch bietet.



Rudolf Hug, Präsident des Vereins PSI-Impuls verleiht die Urkunde an Pierre Boillat.

Der Förderverein organisiert mehrmals im Jahr spezielle Events für seine Mitglieder. Für besonders erfolgreiche Forschungskontakte in die Industrie verleiht er den PSI-Impuls-Preis für angewandte Forschungsprojekte. In diesem Jahr zeichnete die Jury Pierre Boillat aus. In seiner Promotionsarbeit hat er zum ersten Mal die Wasserverteilung in einer Brennstoffzelle *in situ* nachgewiesen und quantitativ bestimmt. Seine Erkenntnisse sind für den realen Betrieb von Brennstoffzellen entscheidend. Mit einer optimierten Wasserverteilung in der Brennstoffzelle kann deren Lebensdauer deutlich verbessert werden.

Die von dem Nachwuchsforscher erarbeitete Methodik führte zu einem stark nachgefragten Entwicklungsservice für Firmen im automobilen Umfeld. Mittlerweile kommen Unternehmen aus der ganzen Welt ans PSI, um mit Boillats Methode ihre Brennstoffzelle an der Neutronenquelle SINQ zu prüfen.

Solarer Zement

Plastikschnitzel, Reifenteile, Klärschlamm – mit Sonnenenergie lässt sich daraus hochwertiger Brennstoff herstellen. Beinahe jedes Material, das viel Kohlenstoff enthält, ist für das Verfahren der solaren thermischen Vergasung geeignet: Durch Spiegel wird Sonnenlicht konzentriert und auf



Am PSI lenkt ein beweglicher Flachspiegel die Solarstrahlung auf den Parabolspiegel. In dessen Fokus wird sie konzentriert auf den Laborreaktor gerichtet.

das Material gerichtet. Bei Temperaturen bis zu 1200 °C verbindet sich der darin enthaltene Kohlenstoff mit Sauerstoffatomen aus hinzugefügtem Wasserdampf. So entstehen Kohlenstoffmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂), kurz: hochwertiges Synthesegas. Dieses könnte künftig als Brennstoff in der energieintensiven Zementherstellung dienen.

Das PSI arbeitet zusammen mit dem Zementhersteller Holcim und der Professur für Erneuerbare Energieträger an der

ETH Zürich an diesem Prozess. Im Labor am PSI wurden dazu verschiedenste Stoffe auf ihre Eignung getestet. Inzwischen haben die Partner die Funktionstüchtigkeit des Verfahrens auch erfolgreich in einer 200-kW-Pilotanlage im spanischen Almeria demonstriert.

Christian Wieckert, Leiter des Projekts am PSI betont: «Das Syngas enthält bis zu 40 Prozent mehr Energie als die Materialien, aus denen es entsteht. Die Sonnenenergie kommt ja noch dazu.» Ist die Entwicklung dieses neuartigen Prozesses erfolgreich, könnte die Zementindustrie künftig auf einen Teil ihres enormen Bedarfs an fossilen Energien verzichten.

Präzision

Ab 2016 soll der Röntgenlaser SwissFEL extrem kurze Pulse von Röntgenlicht liefern und so völlig neuartige Einblicke in Substanzen und Materialien ermöglichen. Wenn es so weit ist, wird man das nicht zuletzt der Schweizer Industrie verdanken, die hoch präzise Komponenten für die Anlage bauen wird. Ein wichtiger Schritt dahin ist der jetzt geschlossene Kooperationsvertrag zwischen der MDC Max Daetwyler AG und dem PSI für Entwicklung und Bau solcher Komponenten. Daetwyler und PSI werden die Gestelle und die Antriebe für die Undulatoren des SwissFEL gemeinsam entwi-

ckeln und bauen. Die Geräte sind von zentraler Bedeutung, denn in ihnen wird das Röntgenlicht des Lasers erzeugt. Im Betrieb müssen sie höchsten Anforderungen genügen: Sie müssen auf Bruchteile eines Tausendstelmillimeters genau justiert sein und gleichzeitig extremen Kräften standhalten. «Daetwyler ist ein führendes Unternehmen, wenn es um solch komplexe Aufgaben geht und für uns ein wertvoller Kooperationspartner, der mit seiner Erfahrung wesentlich zu der Entwicklung der Undulatoren beiträgt», betont Thomas Schmidt, Leiter der Undulatorentwicklung am PSI. Die Unterzeichnung des Vertrags zu diesem Zeitpunkt wurde durch die Massnahmen des Bundes zur Abfederung der Frankenstärke möglich. «Diese vorgezogenen Mittel erlauben uns, einen wichtigen Teil des SwissFEL früher in Angriff zu nehmen und so das ganze Projekt zu beschleunigen», erklärt SwissFEL-Projektleiter Hans Braun.



Thomas Schmidt, Leiter Undulatorentwicklung, und Hans Braun, SwissFEL-Projektleiter, vor einer technischen Zeichnung des geplanten Undulators.

Porträt Laura Heyderman

Künstliches Spin-Eis



Sie war dabei, in der Industrie Karriere zu machen. Dann hat sie den Schritt in die Wissenschaft gewagt. Laura Heyderman würde es jederzeit wieder tun: «Es ist einfach grossartig, etwas ganz Neues zu entdecken. Etwas, das noch niemand gesehen hat.» Nach dem Studium in Chemischer Physik in Bristol hat die Engländerin in der Kunststoffherstellung und später bei Mars Grossbritannien gearbeitet, wo sie sich mit dem Fliessverhalten von Schokolade für Riegel beschäftigte. Die Karriere war vorgespurt. Dann trat die Liebe zu ihrem Schweizer Freund auf den Plan und mit ihr der Wunsch, in die Schweiz zu ziehen. Sie bewarb sich am PSI und stieg als Postdoc im Labor für Mikro- und Nanotechnologie wieder in die Wissenschaft ein.

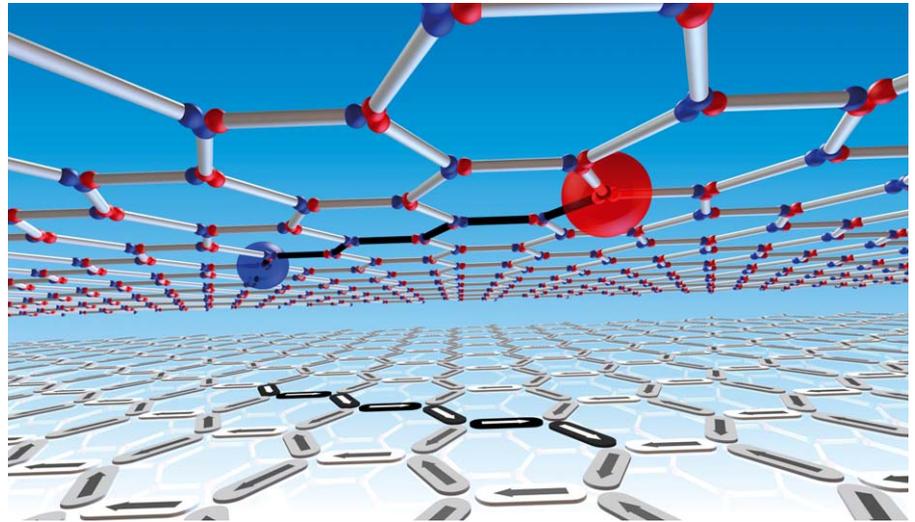
Wörterbuch am Frühstückstisch

Vom ersten Tag an lernte sie mit der für sie typischen Konsequenz Deutsch. Morgen für Morgen begann sie ihren Tag mit aufgeschlagenem Wörterbuch am Frühstückstisch. Das ist zwölf Jahre her.

Laura Heyderman, Gruppenleiterin Magnetische Nanostrukturen. Im Hintergrund: Die Zeitschrift «Nature Physics» wählte eine Grafik von Heydermans Team aus, um damit die Titelseite zu gestalten. Eine weitere Auszeichnung für ihre Forschung.

Heute leitet Laura Heyderman die Gruppe Magnetische Nanostrukturen. Dort will sie eine achtzig Jahre alte Theorie erstmals physisch beobachtbar machen: «Unserer Alltagserfahrung nach erhält man, wenn man einen Stabmagneten teilt, nicht je einen Nord- und einen Südpol, sondern zwei kleinere Stabmagnete mit beiden Polen. Es gibt aber ein Modell, demzufolge Nord- und Südpol sich voneinander entfernen können, wenn sie durch einen sogenannten «Dirac-String» verbunden sind. Dieser verbindet Nord- und Südpol über eine Art Faden, der den magnetischen Fluss zwischen ihnen transportiert. Der String ist so elastisch, dass die Pole beliebig weit entfernt sein können.»

Direkt gesehen hat das noch niemand, weil das Phänomen an natürlichen Kristallen nicht unmittelbar zu beobachten ist. In Zusammenarbeit mit Forschern des University College Dublin und der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS am PSI gelang es Heydermans Gruppe nun, künstliches Spin-Eis zu schaffen und zu untersuchen. Dabei handelt es sich um ein zweidimensionales Gitter aus winzigen Stabmagneten, die in einer Honigwabenstruktur angeordnet sind. Da an den Kreuzungspunkten immer drei Enden von Magneten zusammenreffen, sind wahlweise Nord- oder Südpole in der Überzahl. Kehrt man nun ein aussen ans Spin-Eis gelegtes Magnetfeld



Eigentlich sind Nord- und Südpol eines Magneten untrennbar physisch verbunden. Nun konnte gezeigt werden, dass in einem ausgeklügelten System von Nanomagneten (Pfeile) die Pole so weit voneinander entfernt angesiedelt werden können, dass sie sich wie einzelne Pole verhalten (roter und blauer Punkt). Sie bleiben lediglich durch den Dirac-String, eine Kette von umklappenden Nanomagneten verbunden.

um, beginnen einzelne Nanomagnete ihre Magnetisierungsrichtung zu ändern. Abweichungen vom idealen Muster sind die Folge. Diese Störungen bewegen sich frei durch die Struktur und verschwinden erst, wenn das Muster wieder perfekt ist. Die Magnete folgen dabei einer Spur, die die physische Umsetzung der Dirac-Strings bildet. Anwendung finden könnte das Resultat künftig etwa bei der Datenspeicherung in Computern.

Lunchtime-Workshops

«In der Wissenschaft arbeitet man nie allein», betont Heyderman, wenn sie über ihre Forschung spricht. Sie ist ein Team-Mensch, was ihr sehr zugutekommt. Gleichzeitig sorgt sie dafür, dass ihre Mitarbeitenden auch lernen zu präsentieren,

sich zu vernetzen, ihr Zeit- und Projektmanagement zu optimieren. Dinge, die sie in ihrer Industriezeit gelernt hat. Laura Heyderman veranstaltet dazu Lunchtime-Workshops und erklärt auch mal, dass es oft geschickter ist, zum Telefon zu greifen als ein E-Mail zu schreiben, wenn schnelle Antwort gefragt ist.

Neben der Forschungsarbeit bringt sie sich in zahlreichen Komitees ein, etwa der PSI-Forschungskommission, die unter anderem sämtliche Drittmittelanträge vorbegetachtet. Bleibt ihr neben all dem etwas Zeit, geht sie gern wandern.

Ein Ziel hat sie noch immer: «Ich verstehe mittlerweile gut Schweizerdeutsch. Wenn mein Hochdeutsch endlich perfekt ist, will ich lernen, Dialekt auch zu sprechen. Noch ist es nicht so weit.»

CO₂-freie Energie aus dem Gaskraftwerk

Europäische Anstrengung

Wenn die Schweiz ihre Kernkraftwerke ab 2020 sukzessive abschaltet und nicht ersetzt, bleiben nur wenige Jahre, um Alternativen zur Stromerzeugung bereitzustellen. Diese müssen so leistungsstark sein, dass sie den Stromverbrauch der Schweiz zumindest im bisherigen Umfang decken. Alternative Energien allein können die drohende Versorgungslücke so schnell nicht füllen. Herkömmliche Kraftwerke ander-

seits müssen so weiterentwickelt werden, dass ihre Leistung steigt und ihr Einfluss auf Klima und Umwelt möglichst klein bleibt.

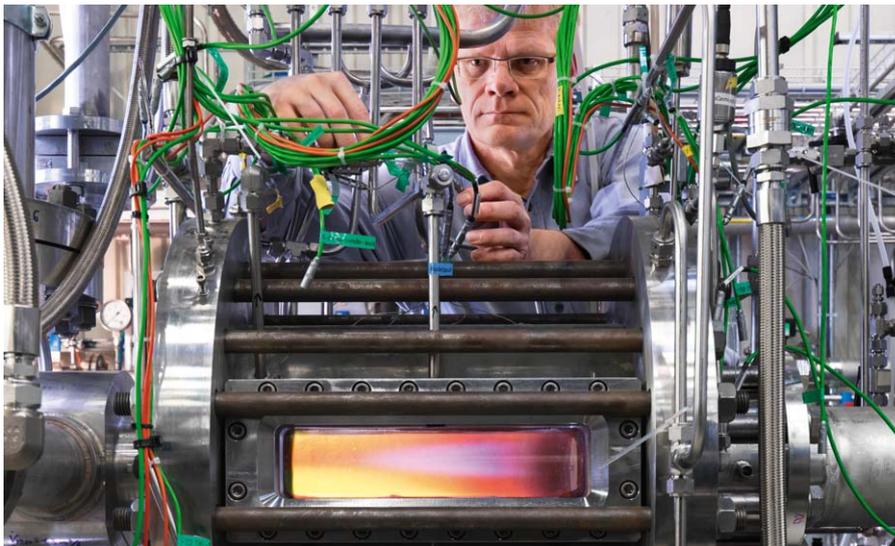
Nicht nur die Schweiz sucht fieberhaft nach Lösungen. Auch in der EU ist der Handlungsbedarf gross. Denn die Europäische Gemeinschaft hat sich verpflichtet, ihren CO₂-Ausstoss bis 2020 um mindestens ein Fünftel zu reduzieren. Schon 2007 hielt die Internationale Energieagen-

tur (IEA) fest, dass die anvisierte Reduktion nur erreicht werden kann, wenn dem Energiekreislauf Kohlenstoff entzogen und geologisch eingelagert wird. Es ist die einzige aktuell vorhandene Technik, mit der man CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen in grossem Umfang auffangen kann.

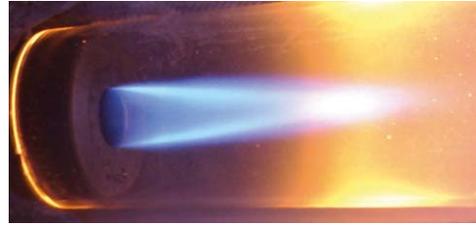
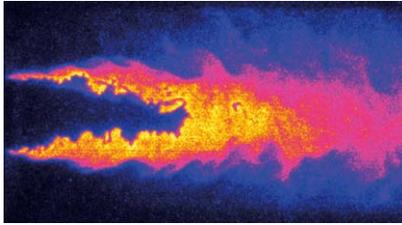
Wasserstoffreiches Gas als Alternative

Um einen der möglichen Lösungsansätze für solche CO₂-freien Kraftwerke weiterzuentwickeln, wurde mit EU-Unterstützung ein länderübergreifendes Projekt mit dem Namen H₂-IGCC gestartet (wobei IGCC für Integrated Gasification Combined Cycle steht). Es vereint europaweit 24 Partner aus Industrie und Forschung. Ziel ist, im Jahr 2020 über eine kommerziell verwendbare Technologie zu verfügen, mit der die CO₂-Klimaziele eingehalten werden können. Dazu soll in Gaskraftwerken Gas, das reich an Wasserstoff (H₂) ist, zur Stromerzeugung genutzt werden. Für die Schweiz ist Peter Jansohn, Leiter des Labors für Verbrennungsforschung am PSI beteiligt.

Der Name IGCC bezeichnet ein Verfahren, bei dem Kohle zunächst durch hohe Temperaturen bei erhöhtem Druck in brennbares Rohgas (sogenanntes Synthese-



Die Gruppe von Peter Jansohn nutzt eine spezielle Brennkammer mit Sichtscheibe, um die winzigen Details der Flammenfront von wasserstoffreichem Gas zu vermessen. So wird ermittelt, wie viel Brenngas in welcher Zeit umgesetzt wird.



Dank einer speziellen Methode kann man am PSI Details einer Flamme sichtbar machen, die sich mit blossen Auge nicht erkennen liessen. Die aufgefaltete Flammenfront lässt Rückschlüsse auf die Verbrennungseigenschaften des Brennstoffs zu. Rechts: So sieht die Flamme für das menschliche Auge aus.

gas) umgewandelt wird, um anschliessend in einem Gas- und Dampfturbinen-Prozess zu Strom umgesetzt zu werden.

CO₂ entsteht gar nicht erst

Dieses Synthesegas besteht hauptsächlich aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂). Erst bei der anschliessenden Verbrennung würde sich Kohlendioxid (CO₂) bilden. Peter Jansohn erläutert: «Der Charme der Methode ist, dass man den im Synthesegas enthaltenen Kohlenstoff mit vergleichsweise wenig Aufwand schon vor der Verbrennung entfernen kann und nur das wasserstoffreiche Gas verbrannt wird.» Fehlt aber der Kohlenstoff (C), kann sich bei der Verbrennung kein CO₂ bilden. Die Abgase bestehen dann zum überwiegenden Teil nur noch aus Stickstoff (N₂) aus der Verbrennungsluft und Wasserdampf (H₂O).

Ferrari gegen Fiat 500

Die Umsetzung der Idee ist allerdings nicht ganz trivial. Ist der Kohlenstoff aus dem Brenngasstrom entfernt, hat das zurückbleibende wasserstoffreiche Gas deutlich veränderte Verbrennungseigenschaften. Oder, wie Jansohn auf den Punkt bringt: «Das ist wie wenn ein Ferrari gegen einen

Fiat 500 antritt.» Denn Abgase des wasserstoffreichen Gases haben eine deutlich andere Zusammensetzung als die von Erdgas. Sie enthalten wesentlich mehr Wasserdampf. So ist die Wärmeübertragung etwa auf die Turbinenschaufeln höher, das erfordert verbesserte Kühltechniken. Ziel des Projekts ist auch, Brennkammern und Turbinen zu entwickeln, die für dieses wasserstoffreiche Gas geeignet sind und Materialien zu finden, die der Belastung standhalten.

Blick auf die Flamme

Das PSI selbst forscht im Rahmen des EU-Projektes vor allem am Brennverhalten des Gases. Die Forscher nutzen eine spezielle Brennkammer mit grosser Sichtscheibe. So können sie die Flammenfront mit Lasermesstechnik in Momentaufnahmen betrachten. Die Verbrennungsreaktion erfolgt bei wasserstoffreichem Gas so schnell, dass sie auf eine sehr dünne Reaktionsschicht konzentriert ist. Damit der Brennstoff vollständig umgesetzt werden kann, muss diese Reaktionsoberfläche eine bestimmte Grösse haben. Die Natur behilft sich damit, dass jede Flamme – bedingt durch das Wechselspiel zwischen turbulenten Strö-

mungsphänomenen und chemischen Verbrennungsvorgängen – winzige charakteristische Auffaltungen entwickelt, die diese Reaktionsoberfläche wesentlich vergrössern. Diese Flammenfronten müssen die Forscher detailliert vermessen. Die dabei ermittelte Kenngrösse ist die Flammengeschwindigkeit. Sie besagt, wie viel Brenngas pro Zeiteinheit umgesetzt wird. Diese Kenngrösse wird ein grundlegendes Auslegungskriterium für die realen Brennkammern der Kraftwerke sein.

Für wasserstoffreiches Gas gibt es solche Informationen noch nicht. Sie werden vom PSI erstmals unter den gewünschten Strömungs-, Druck- und Temperaturbedingungen quantitativ bestimmt.

Weitere Herausforderungen

Eine weitere grosse Herausforderung: «Künftig wird immer stärker auf erneuerbare Energien gesetzt. Die können naturgemäss nur unregelmässig ins Stromnetz eingespeist werden. Daher brauchen wir zusätzliche Kraftwerksvarianten mit steuerbarem, flexiblem Betrieb, die solche Lastschwankungen ausgleichen können», so Jansohn. Noch aber haben die Kraftwerksprozesse mit Kohlenstoff-Abscheidung eine eher träge Betriebscharakteristik, können also nicht sehr flexibel an Bedarfsschwankungen angepasst werden.

Das grosse Ziel für 2020 ist eine Anlage, die wasserstoffreiches Gas mit hohem Wirkungsgrad verbrennen kann, die sich aber im Bedarfsfall auch flexibel mit Erdgas betreiben lässt und so zur Stabilisierung der elektrischen Netze beiträgt.

Interview mit Eberhard Lehmann

Goldbüste oder rostende Autotür

Herr Lehmann, wenn man in der Nähe Ihrer Messstationen vorbeigeht, trifft man auch auf Unerwartetes: Mal steht da ein Schiessstand, in dem schussichere Westen durchlöchert werden, mal ein Gewächshaus mit Kichererbsen und Lupinen. Dann wieder fahren Paläontologen mit Saurierschädeln vor.

Ja, langweilig wird es bei uns nicht. Wer zu uns kommt, will wissen, wie Objekte von innen aussehen. Mit unserer Methode kann er das erfahren, ohne dass sein Objekt etwa zersägt werden müsste.

Ihre Methode ist die Neutronenradiografie. Was muss man sich darunter vorstellen?

Das ist ähnlich wie bei einem Röntgenbild, nur benutzen wir kein Röntgenlicht, sondern Neutronen. Das sind neutrale Teilchen, deshalb interagieren sie mit ihrer Umgebung anders als Röntgenstrahlen. Dickes Metall passieren die Neutronen oft problemlos. Wasser dagegen bremst sie ab und absorbiert sie.

Einen Bleiblock kann man damit also locker durchleuchten.

Wenn in einem Eimer Blei ein Tropfen Was-

ser ist, können wir den finden. Das herkömmliche Röntgengerät des Arztes sieht da buchstäblich schwarz. Ein Tropfen Blei in einem Eimer Wasser hingegen wäre un auffindbar.

Was aber macht nun ein Schiessstand neben der Neutronenradiografie?

Das war eine ganz spezielle Geschichte. Polizei und Militär hatten festgestellt, dass ihre Westen nicht mehr schussicher sind, wenn sie nass werden. Da musste der Polizist nicht gleich ins Wasser fallen – es reichte schon, wenn er ordentlich schwitzte. Solche Westen sind aus Kevlar-Schichten hergestellt. Die steppt man aufeinander, damit eine ausreichend sichere Dicke erreicht wird. Zu dick dürfen sie aber nicht sein, damit man darin noch einigermaßen beweglich bleibt. Eine ziemliche Gratwanderung.

Um die Ursache des Problems zu finden, liessen sie nasse Westen beschliessen.

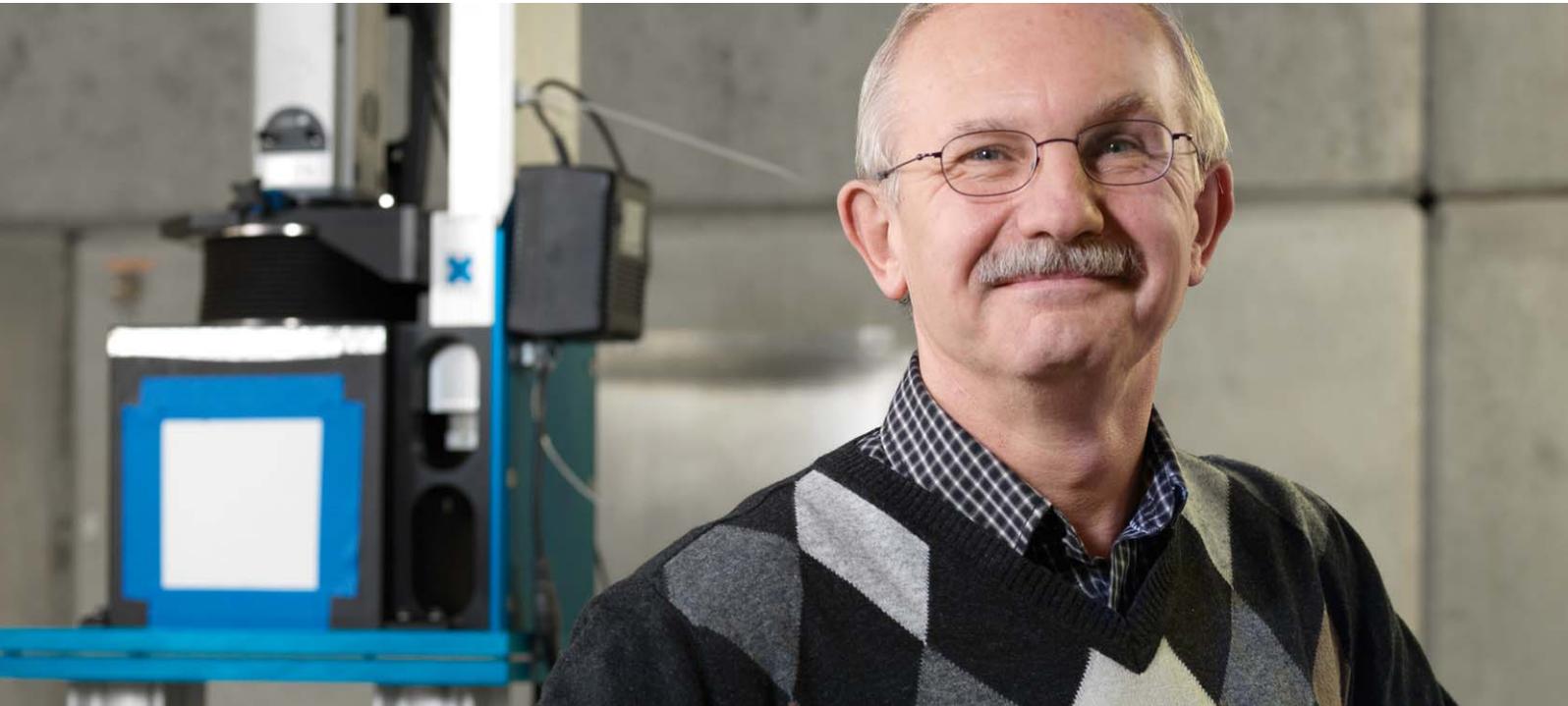
Wir konnten sehen, wie Kevlar durchfeuchtet und wie sich die Feuchte durch den Beschuss umverteilt. Die Schwachstelle lag in der Art der Steppung, die Feuchtigkeit durchlässt. Das sollte heute aber behoben sein.

Zur Person

Eberhard Lehmann (59) wurde in Leipzig geboren. Er forschte an der Physik schneller Brutreaktoren und promovierte auch auf diesem Gebiet. 1991 begann er als Reaktorphysiker am PSI-Forschungsreaktor SAPHIR. Nach dessen Abschaltung 1995 begann er, die entstehende Spallations-Neutronenquelle SINQ am PSI mit Experimentiereinrichtungen auszustatten. Lehmann ist heute Gruppenleiter für Neutronenradiografie. Er ist auch Präsident der «International Society on Neutron Radiology» und wird für diese die «Weltkonferenz für Neutronenradiografie» organisieren, die 2014 in der Schweiz stattfinden soll.

Sie und Ihre Kollegen haben in Ihren Terminkalendern Kongresse für Ur- und Frühgeschichte oder römische Bronzen neben solchen der Autobranche zum Thema Klebungen. Für Physiker eher ungewöhnlich.

Unsere Methode ist für sehr unterschiedliche Nutzer interessant, und wir bemühen uns, sie bekannt zu machen. Dass man an unseren Messstationen ins Innere von metallenen Skulpturen schauen kann, ohne dass sie Schaden nehmen, ist für Archäo-



Die Nachfrage nach Neutronenradiografie ist gross: Eberhard Lehmann am im Aufbau befindlichen dritten Messplatz.

logen natürlich ideal. So konnten wir in uralten Buddha-Statuen aus Messing verborgene hölzerne Kultgegenstände und trockene Pflanzen entdecken. Im Augenblick arbeiten wir mit dem Museum Rietberg in Zürich an einer umfassenden Studie seiner Objekte.

Was war der bisher spektakulärste Kunstgegenstand am PSI?

Der wertvollste Gegenstand bisher war die Goldbüste von Marc Aurel aus Avenches. Sie wird auf 6 Millionen Franken geschätzt. Wir konnten nachweisen, dass die Goldwandung aus mehreren Stücken zusammengesetzt ist. Das allerdings so genial,

dass es von aussen unmöglich festzustellen ist.

Gibt es Fälle, in denen auch Neutronenradiografie nicht weiterhilft?

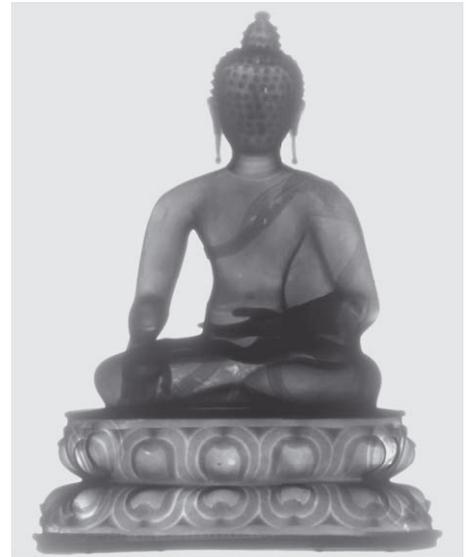
Es gab schon Anfragen, Aquarelle zu durchleuchten. Das bringt natürlich nichts, denn es ist viel zu wenig Material vorhanden. Heikel wird es auch, wenn jemand ein Kunstwerk durch uns als echt zertifizieren lassen will. Wir können Merkmale nachweisen, mehr nicht. Etwa, ob bestimmte Substanzen in der Farbe eines Gemäldes verwendet wurden. Ob es von einem bestimmten Maler stammt, müssen die Kunstsachverständigen beurteilen.

Und was machen Sie zum Beispiel auf einem Kongress der Autoindustrie?

In Autos werden heute Teile immer öfter geklebt statt geschweisst. Und immer mehr aus Alu gebaut, wegen des Gewichts. Wenn an einer Tür Stahl mit Aluminium verklebt wird und Feuchtigkeit dazwischen dringen kann, entsteht die schönste elektrochemische Brücke.

Es bildet sich Rost.

Genau. Um das zu überprüfen, reissen die Autobauer das normalerweise auseinander und sagen «aha». Bei uns können sie genau sehen, was im Inneren passiert und wie



Neutronenradiografie ist eine zerstörungsfreie Untersuchungsmethode ähnlich dem Röntgen. Sie erlaubt den Blick in das Innenleben von metallischen Objekten. In der hier gezeigten antiken Buddha-Figur (links) werden so Blumen und Holzstücke sichtbar (Mitte). Herkömmliche Röntgenmethoden (rechts) müssten hier versagen.

sich Klebstoff oder eingedrungene Feuchte ausbreitet. Aber davon abgesehen: Wir haben ja drei verschiedene Messstationen, mit denen wir unterschiedliche Details sehen können. Daher haben wir eine extreme Breite an Untersuchungsmethoden. Wir könnten auch eine Schweißnaht im Inneren genau darstellen.

Feuchtigkeit scheint tatsächlich ein grosses Thema zu sein. Wo taucht das noch auf?

In der Geologie. Wir können beobachten, wie sich Feuchte im Gestein verteilt, etwa in Opalinuston. Das kann ein grosses Thema werden, wenn es um die Suche nach Endlagern für radioaktive Abfälle geht. Der Feuchtetransport im Ton muss unterbun-

den sein, damit keine Radioaktivität nach aussen gelangt. Dazu muss man erst einmal wissen, wie er funktioniert. Oder bei Brennstoffzellen. Hier ist die Wasserverteilung essenziell für die Leistungsfähigkeit – wir sehen das Wasser auch hinter dicken Metallplatten im laufenden Betrieb der Zelle.

Und wie sieht es mit dem Wassertransport in der Erde aus, etwa durch Pflanzenwurzeln?

Da kommen wir wieder zum Gewächshaus von vorhin. Anhand der Pflanzen, die dort wachsen, konnten wir eine bisherige Lehrmeinung über den Haufen werfen. Diese besagte, dass in der Nähe von Pflanzenwurzeln weniger Wasser im Boden ist,

weil die Pflanze es dem Boden entzieht. Da Wurzeln zu 90 Prozent aus Wasser bestehen, konnten wir die Wasserbewegungen im Boden besser beobachten als das mit Röntgenstrahlen möglich wäre.

Und die herkömmliche Meinung ist nun widerlegt?

Richtig. Im Bereich von einigen Millimetern um die Wurzeln gibt es sogar ein Drittel mehr Wasser. Die Pflanze schafft sich ihren Wasservorrat selbst, vermutlich indem sie eine gallertartige Substanz absondert, die das 10 000-fache ihres Trockengewichts an Wasser binden kann. Auf diese Weise können Pflanzen Trockenperioden von bis zu zwölf Stunden überbrücken.

PSI-Teilchenphysiker auf der Suche nach «neuer Physik»

Warten auf den richtigen Zerfall

Woraus ist die Welt im Kleinsten aufgebaut? Was hält sie zusammen? Was früher Philosophen beschäftigte, ist heute Thema für Teilchenphysiker. In ihren Versuchen wollen sie dem Verhalten der kleinsten Teilchen auf die Spur kommen und so kleine Stücke zur grossen Antwort auf die ewigen Fragen beitragen. Sie brauchen dazu Experimente an den Grenzen des Machbaren: So beschäftigt sich eine PSI-Arbeitsgruppe mit Teilchen, die als Myonen bekannt sind – nur am PSI entstehen so viele davon, dass das Experiment nicht länger als ein Menschenleben dauert. Eine andere Gruppe forscht an B_s -Mesonen. Um sie zu erzeugen, braucht man hohe Energien. Die liefert das CERN.

Dabei verfolgen die beiden Gruppen im Prinzip dasselbe Ziel: Sie wollen mit ihren Experimenten Vorstellungen prüfen, die theoretische Physiker von der Welt der kleinsten Teilchen entwickelt haben. Es gibt eine ganze Menge an solchen Vorstellungen, die Physiker in verschiedenen Theorien zusammengefasst haben. Sie unterscheiden sich in dem umfassenden Bild, das sie von der Welt der Teilchen zeichnen. Sie müssen aber Phänomene, die dank zahlreicher Experimente bereits heute ge-

nau bekannt sind, korrekt beschreiben. Sonst wären sie offensichtlich falsch. So stellt sich die Frage: Mit welchem Experiment kann man entscheiden, ob eine Theorie die richtige umfassende Beschreibung liefert oder nicht?

Die PSI-Forschenden beobachten dazu Teilchenzerfälle. Bis auf ganz wenige Teilchenarten zerfallen Elementarteilchen in meist kurzer Zeit. Dabei kann ein Teilchen auf mehrere Weisen zerfallen. Wie wahrscheinlich eine bestimmte Zerfallsart ist –

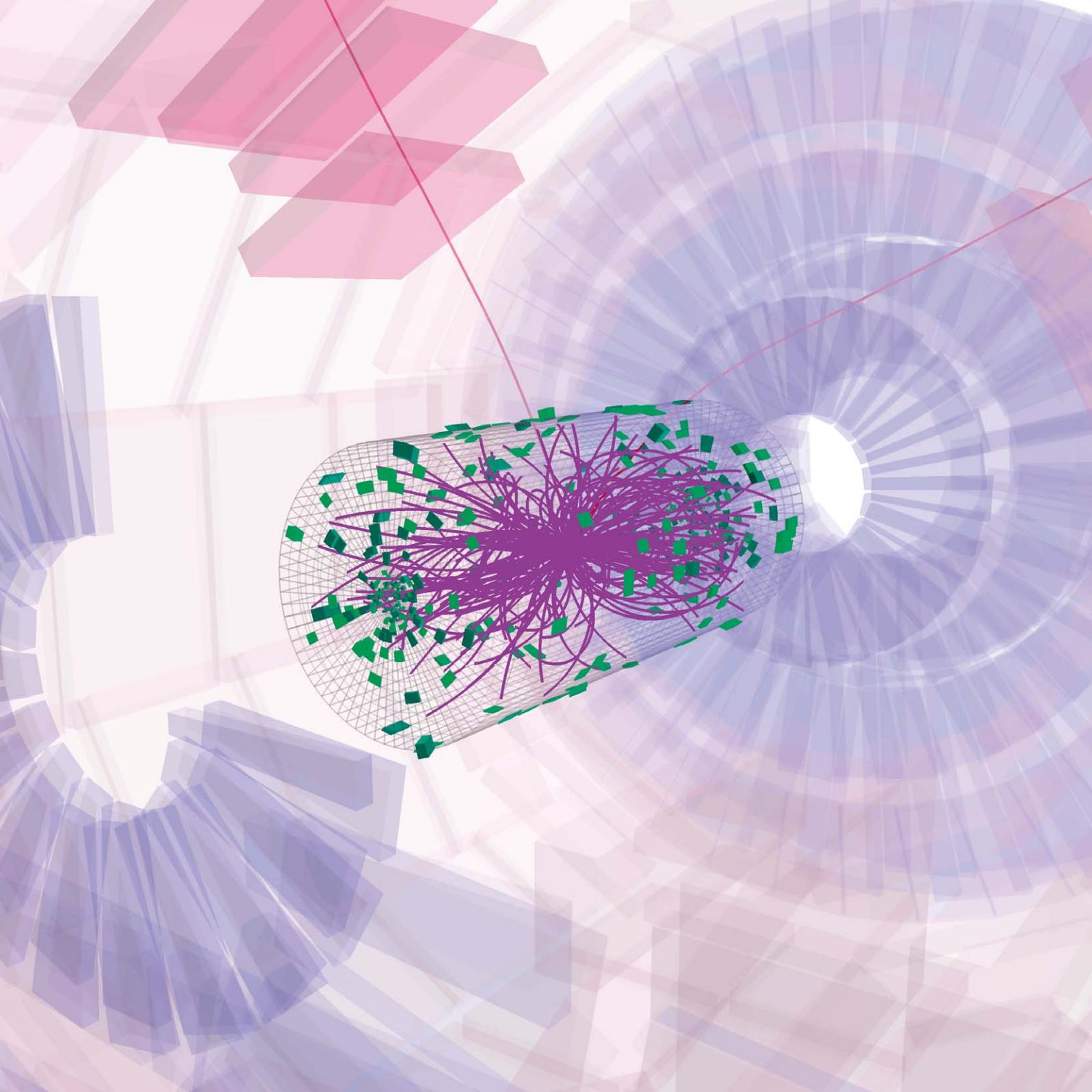
dafür treffen die verschiedenen Theorien zum Teil deutlich unterschiedliche Voraussetzungen.

Genug Teilchen am PSI

Zum Beispiel wenn es um den extrem seltenen Zerfall des positiven Myons in ein Positron und ein Lichtteilchen geht. Ein Positron ist das positiv geladene Antimaterie-Pendant zum Elektron, das positive Myon gewissermassen dessen 200-mal schwerere Version. Ein Myon zerfällt in



Teilchenphysik ist Teamarbeit. Die PSI-Physiker Malte Hildebrandt, Peter-Raymond Kettle und Stefan Ritt (von links) – 3 von rund 60 Personen, die das Experiment zum Myonenzerfall betreiben.



rund 2 millionstel Sekunden. Sein Zerfall in ein Positron und ein Lichtteilchen wurde aber noch nie beobachtet. Das Standardmodell, die konventionelle Theorie, sagt in seiner aktuellen Fassung voraus, dass ein einziges Myon unter 10^{50} (das ist eine 1 mit 50 Nullen dahinter) in ein Positron und ein Lichtteilchen zerfällt. Das kann man nicht messen – auch wenn man ein realistisches Experiment über die ganze Lebensdauer des Universums betreiben würde, sähe man keinen einzigen solchen Zerfall.

«Andere Theorien sagen für diesen Zerfall aber sehr viel höhere Wahrscheinlichkeiten voraus – ein Zerfall unter 10^{12} oder 10^{13} . Das kann man messen. Aber nur am PSI», erklärt Stefan Ritt, Mitglied des Experiment-Teams. «Nur hier erzeugt die Beschleunigeranlage genug Myonen für ein solches Experiment. Denn auch in diesem Fall müssen wir sehr viele Myonenzfälle beobachten, um eine Chance zu haben, den gesuchten Zerfall auch nur ein einziges Mal zu sehen. Sollten wir ihn aber sehen, wäre das ein Hinweis auf «neue Physik» – darauf, dass die richtige Beschreibung der Welt in einer der neuen Theorien zu finden ist.»

Genug Energie am CERN

Genauso wichtige Einsichten liefert der Zerfall des «seltsamen» B_s -Mesons in zwei Myonen. Wobei «seltsam» lediglich bedeutet, dass es als Baustein ein sogenanntes s-Quark enthält, über dessen Entdeckung die Physiker so überrascht waren, dass sie es «seltsam» nannten. Der Zerfall ist nicht

ganz so unwahrscheinlich wie der des Myons, dafür ist es viel aufwendiger, an die Mesonen zu kommen. Man braucht dafür hohe Energien, wie sie zwar nicht am PSI, aber am Europäischen Teilchenforschungszentrum CERN in Genf verfügbar sind. Hier prallen zwei Strahlen von Protonen mit hoher Energie aufeinander und produzieren in ihren Kollisionen unzählige neue Teilchen – darunter auch die gesuchten B_s -Mesonen, die kurz nach der Entstehung auch gleich wieder zerfallen. «Die Kunst besteht darin, in der unglaublichen Zahl an beobachteten Teilchen genau die zu finden, die bei einem B_s -Zerfall entstanden sind. Und darunter wieder jene, die in der für uns interessanten Weise zerfallen sind», erläutert Urs Langenegger, Teilchenphysiker am PSI. «Es ist völlig unmöglich, die Daten über alle Teilchen, die hier entstehen, in Computern zu speichern. So muss der Detektor, der die Teilchen registriert, sofort selbst entscheiden, welche davon für unsere Fragestellung interessant sein können und die anderen selbsttätig löschen.»

Neue Technologien aus der Teilchenphysik

Dass diese technische Meisterleistung möglich wurde, ist auch PSI-Forschern zu verdanken, die einen wesentlichen Teil des am CERN genutzten Detektors entwickelt und gebaut haben. Für das Experiment zum Myonenzfall wurde ein Chip von der Grösse eines Daumennagels entwickelt, der dieselben Informationen liefert wie ein konventionelles Oszilloskop – ein schuhschachtel-

grosses Gerät. Das Experiment haben die Forschenden mit mehreren Hundert dieser Chips ausgestattet. «Wir beobachten sehr viele Teilchen, die aus den üblichen Myonenzfällen stammen oder von aussen kommen und müssen jene heraussuchen, die bei «unserem» Zerfall entstanden sind. Manchmal fliegen zwei Lichtteilchen fast gleichzeitig durch den Detektor und sehen wie ein einzelnes mit den passenden Eigenschaften aus. Der Oszilloskop-Chip zeigt uns, dass es zwei waren», erklärt Ritt.

Die gesuchten Zerfälle haben bisher weder Ritt noch Langenegger beobachtet. Was sie nicht unzufrieden macht. «Durch die Messergebnisse können wir schon bestimmte Theorien stark einschränken. Sie sagen für die Zerfälle so hohe Wahrscheinlichkeiten voraus, dass wir etwas hätten sehen müssen», so Langenegger. «Wir messen weiter – vielleicht haben wir im nächsten Jahr einen Hinweis auf «neue Physik»», ergänzt Ritt.

Originalveröffentlichungen:

New Limit on the Lepton-Flavor-Violating Decay $\mu^+ \rightarrow e^+ \gamma$

J. Adam et al. (MEG Collaboration)
Phys. Rev. Lett. **107**, 171801 (2011)

Search for $B_s^0 \mu^+ \mu^-$ and $B^0 \mu^+ \mu^-$ Decays in pp Collisions at $\sqrt{s}=7$ TeV

S. Chatrchyan et al. (CMS Collaboration)
Phys. Rev. Lett. **107**, 191802 (2011)

Arzneiwirkstoffe gezielt im Körperinneren anwenden

Dosiermechanismus gefunden



Instrumenten-Betreuer Joachim Kohlbrecher am SANS-I-Messplatz an der SINQ. Dort werden Proben mit Neutronenstreuung untersucht.

«Allein die Menge macht das Gift», erkannte Paracelsus bereits im 16. Jahrhundert. Sein Grundsatz ist heute noch gültig, insbesondere in der Arzneimitteltherapie, wo die Frage nach der Dosierung ebenso zentral ist wie die Wahl des Wirkstoffes. Denn jede medikamentöse Behandlung ist eine Gratwanderung zwischen erwünschter Wirkung am Zielort und unerwünsch-

ten toxischen Nebeneffekten. Weltweit wird daher an Trägersystemen geforscht, die Wirkstoffe gezielt im Körper transportieren. Ein Beispiel dafür bilden Liposomen. Das sind klitzekleine kugelförmige Strukturen, bei denen eine künstliche Zellmembran einen wässrigen Innenraum umschliesst. Darin lassen sich wasserlösliche Substanzen einschliessen und geschützt

transportieren. In der Krebstherapie etwa werden Wirkstoffe bereits mit Liposomen verfrachtet. Die eigentliche Freisetzung der Ladung ist bislang aber noch unbefriedigend, da sie sich nur schwer steuern lässt. In einem wegweisenden Projekt ist es der jungen Materialwissenschaftlerin Esther Amstad und dem schwedischen Physiker Erik Reimhult zusammen mit Forschern von ETH und PSI unlängst gelungen, ein Transport-Vehikel im Nanomassstab zu schaffen, das seinen Inhalt minutiös kontrollierbar entladen kann.

Dosierung per Magnetfeld

«Wir erforschen biologische Materialien und versuchen, sie auf synthetischem Weg nachzubauen und funktional zu ergänzen – mit der Ambition, ebenso clever zu sein wie dreieinhalb Milliarden Jahre Evolution», schmunzelt Reimhult, der bis vor Kurzem Oberassistent am Laboratory for Surface Science and Technology LSST der ETH Zürich war. Amstad, damals Doktorandin am LSST unter Reimhults Obhut, hatte während der ersten drei Jahre ihrer Dissertation ultra kleine Kügelchen aus Eisenoxid entwickelt, sogenannte Nanopartikel, an deren Oberfläche sie Polymermoleküle anheftete,

damit sie nicht verklumpen. Reimhult wiederum beschäftigte sich schon länger mit künstlichen Zellmembranen. So entstand die Idee, die neuen Nanopartikel durch einen selbstorganisierenden Prozess während der spontanen Entstehung der Liposomen direkt in die Membran einzubauen. Dabei ist das Ziel, die Entleerung von aussen steuern zu können.

Amstad erklärt: «Die Durchlässigkeit der Membran ist temperaturabhängig – bei 37 Grad sind unsere Liposomen völlig dicht. Wird ihnen jedoch Wärme zugeführt, wird das starre Membrangefüge durchlässig, sodass Stoffe passieren können». Anstatt nun aber, wie bislang üblich, plump von aussen zu heizen, bedienten sich die beiden Forscher eines eleganten Kniffs. Er basiert darauf, dass die Eisenoxid-Kügelchen magnetisch sind. Bringt man ein rasch wechselndes Magnetfeld an, so folgt die Magnetisierungsrichtung der Nanopartikel dem Wechselfeld und flippt kontinuierlich hin und her. Dabei entsteht Wärme, ohne dass sich die Kügelchen selbst bewegen. Die Durchlässigkeit der Liposomen sollte also über das Magnetfeld steuerbar sein.

Soweit die Theorie, die sich in der Praxis erst noch bewähren musste. «Zu unserer Überraschung stellten wir fest, dass sich die frisch synthetisierten Liposomen tatsächlich so verhielten, wie gedacht», freut sich die Schweizerin. «Nun hatten wir zwar den Machbarkeitsbeweis, doch wir wussten nicht, wie unser Trägersystem im Detail beschaffen ist.» Also machte sich die 27-Jährige daran, die Struktur der Nanocontainer genauestens zu charakterisieren – eine ungleich schwierigere Aufgabe, denn

die Objekte sind derart klein, dass sie auch unter dem stärksten Lichtmikroskop komplett verborgen bleiben. Andere Methoden waren gefragt, um Licht ins Dunkel zu bringen.

Nanokapseln im Neutronenstrahl

Manchmal hilft der Zufall weiter: Im Rahmen einer PSI-Sommerschule in Zuoz, an der Amstad ein Poster über ihre Nanopartikel vorstellte, lernte sie den Physiker Joachim Kohlbrecher kennen. Kohlbrecher, Wissenschaftler und Instrumentenbetreuer an der Spallations-Neutronenquelle SINQ des PSI, machte Amstad auf die Methode der Neutronenstreuung aufmerksam. Sie erlaubt es, den Aufbau von Materie zerstörungsfrei zu untersuchen, indem Neutronen auf eine Probe gelenkt und gestreut werden. Ein Detektor erfasst Flugrichtung und Intensität der Teilchen. Aus den resultierenden Streubildern lässt sich mit viel Erfahrung, Modellier- und Rechenaufwand auf die Beschaffenheit der Probe rückschliessen.

Dem Treffen in Zuoz folgten erste Versuche am PSI. Kurz darauf begannen Amstad und Kohlbrecher zu messen. Da die Neutronen-Streubilder nicht eindeutig interpretierbar waren, zogen die beiden auch Resultate anderer Techniken – etwa der Elektronenmikroskopie – und entsprechende Experten heran, um ihr Modell zu verfeinern. «Es ist wie ein Puzzlespiel – nur eine Methode allein reicht da nie aus», betont Kohlbrecher, der seit 15 Jahren am PSI tätig ist und über einen riesigen Fundus an Erfahrung verfügt. Stück für Stück gelang es Amstad und ihm, sowohl die Nanopar-

tikel als auch die Transport-Kapseln exakt zu vermessen.

Aufgrund der Erkenntnisse konnte Amstad ihre Dissertation rasch und erfolgreich beenden. Sie hat an 15 Publikationen mitgewirkt und für ihre Arbeit den Materials Research Prize 2011 der ETH Zürich sowie die ETH-Medaille erhalten. Mittlerweile setzt sie ihre Karriere als Postdoc in Harvard fort. Reimhult ist inzwischen Professor für biologisch-inspirierte Materialien am Departement für Nanobiotechnologie an der Universität für Bodenkultur BOKU in Wien. Beide forschen weiterhin mit Leidenschaft an molekularen Werkzeugen für biomedizinische Anwendungen.

Originalveröffentlichung:
Triggered Release from Liposomes through Magnetic Actuation of Iron Oxide Nanoparticle Containing Membranes
 E. Amstad, J. Kohlbrecher, E. Müller, T. Schweizer, M. Textor and E. Reimhult
Nano Lett. 11, 1664-1670 (2011)



Im Rahmen ihrer Dissertation hat Esther Amstad einen Nanocontainer entwickelt, mit dem sich Wirkstoffe fein dosieren lassen.



Die Grossforschungsanlagen des PSI

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

Forschen mit grossen Geräten

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

PSI rund 40 verschiedene Messplätze für ihre Experimente vor.

Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS

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

Spallations-Neutronenquelle SINQ

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

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

Myonenquelle μS

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

Protonenbeschleunigeranlage

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

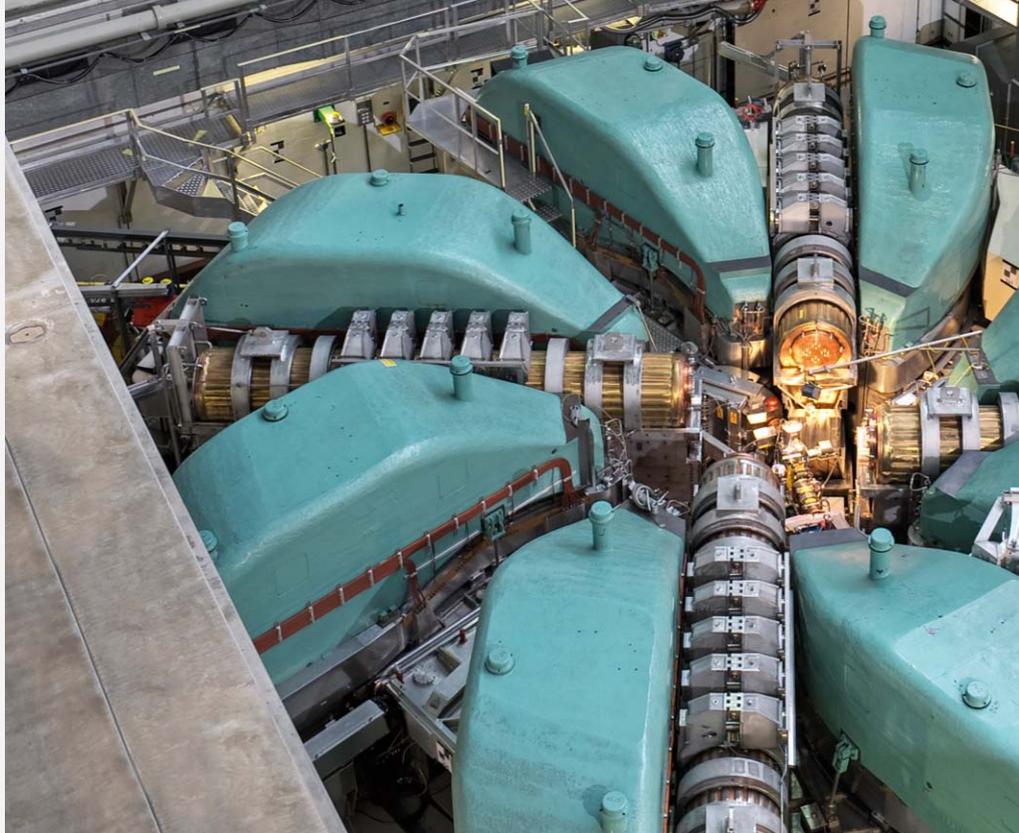
Materials trifft. Der Protonenstrahl wird in der Protonenbeschleunigeranlage des PSI erzeugt. Hier werden die Protonen auf fast 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

Hotlabor, Smogkammer etc.

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

SwissFEL – das Zukunftsprojekt

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



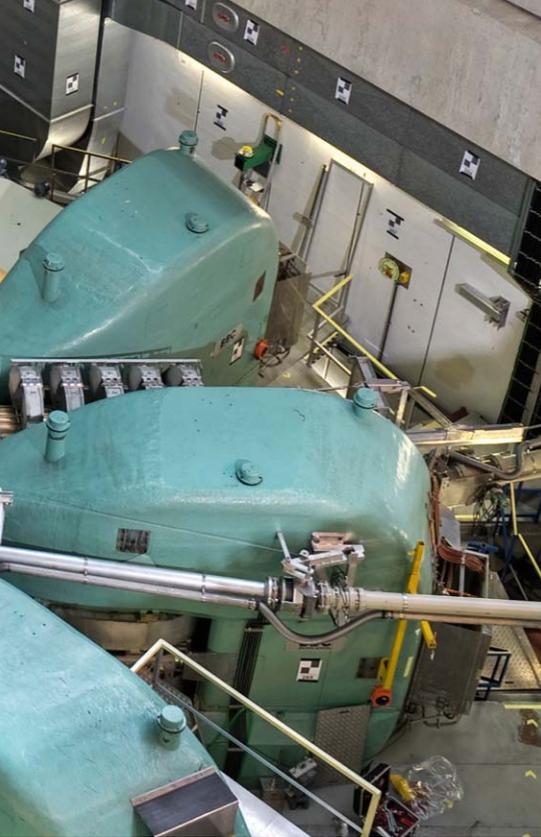
Blick auf den grossen Protonenbeschleuniger, der einen Umfang von rund 48 Metern hat.

Das PSI ist ein Nutzerlabor

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

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

Damit dennoch möglichst viele Forschende Zugang zu Neutronen, Synchrotronlicht oder Myonen erhalten, betreibt das PSI zentral die entsprechenden Grossanlagen: die Neutronenquelle SINQ, die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS und die Myonenquelle μS – eine Kombination von Anlagen, die es weltweit nur noch an einem



Die Messzeit geht an die besten Forschungsprojekte

Sämtliche Forscher und Forscherinnen, die sich durch die Nutzung von Neutronen, Myonen oder Synchrotronlicht Antworten auf ihre wissenschaftlichen Fragestellungen erhoffen, können sich beim PSI um Messzeit bewerben. Dazu müssen sie in einem Antrag die Fragestellung, das geplante Experiment und die Erwartungen an die Messung beschreiben. Mit internationalen Fachleuten besetzte Komitees prüfen diese Messzeitanträge auf ihre wissenschaftliche Qualität und empfehlen dem PSI, welche Anträge tatsächlich Messzeit bekommen sollen. Denn obwohl es rund 40 Messplätze gibt, reicht die Zeit nie für alle eingegangenen Bewerbungen. Rund ein Drittel bis die Hälfte der Anträge muss abgelehnt werden. Manche Messplätze sind in der Forschergemeinde sogar so begehrt, dass dort sechsmal so viel Messzeit beantragt wird, als verfügbar ist. Angezogen werden die externen Forscher und Forscherinnen dabei nicht nur von den Experimentiermöglichkeiten, sondern auch von der guten Betreuung durch die PSI-Forschenden. Diese sind selbst erfahrene Wissenschaftler und unterstützen die Nutzer dabei, an den Anlagen die optimalen Ergebnisse zu erzielen.

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

Nutzerdienst in Zahlen

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

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

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

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

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

Die Forschungsschwerpunkte des PSI

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

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

Materie und Material

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

So geht es zum Beispiel darum zu verstehen, warum manche Materialien supraleitend sind – elektrischen Strom also ganz ohne Widerstand leiten können – oder wie die magnetischen Eigenschaften von Materialien zustande kommen. Diese Erkenntnisse können für verschiedene technische Entwicklungen genutzt werden, um bessere elektronische Bauteile zu entwickeln.

Die Forschenden des Labors für Teilchenphysik interessieren sich für die fundamentale Frage nach den Grundstrukturen der Materie. Dazu untersuchen sie Aufbau und Eigenschaften der Elementarteilchen – der kleinsten Bausteine der Materie. Damit treiben sie Forschung, die den Bogen vom Urknall zur heute vorgefundenen Materie mit ihren Eigenschaften spannt.

Mensch und Gesundheit

Wesentliche Vorgänge in lebenden Organismen auf molekularer Ebene zu verstehen und neue Methoden zur Diagnose und Behandlung von Krankheiten zu entwickeln, sind die Ziele der Forschung auf dem Gebiet «Mensch und Gesundheit».

Im Mittelpunkt der Forschung zu biologischen Grundlagenfragen steht die Bestimmung von Struktur und Funktion von Proteinen – Biomolekülen, die in vielfältiger

Weise das Verhalten von lebenden Zellen steuern. Auf dem Gebiet der Radiopharmazie entwickeln Forschende des PSI Therapiemoleküle, mit denen sehr kleine und im ganzen Körper verteilte Tumore behandelt werden sollen. Hier arbeitet das PSI sehr eng mit Hochschulen, Kliniken und der Pharmaindustrie zusammen.

Seit 1984 werden an der Protonentherapieanlage des PSI Patienten behandelt, die an bestimmten Tumorerkrankungen leiden. Die Anlage, die PSI-Fachleute entwickelt und auf dem Institutsgelände gebaut haben, ist weltweit einmalig. Ihre Bestrahlungstechnik nutzt die Vorteile der Protonen, die es erlauben, den Tumor gezielt zu zerstören und die gesunde Umgebung des Tumors optimal zu schonen. In Absprache mit der medizinischen Abteilung des PSI können Ärztinnen und Ärzte Patienten und Patientinnen zur Behandlung ans PSI überweisen.

Energie und Umwelt

Die Energieforschung des Paul Scherrer Instituts konzentriert sich auf die Erforschung von Prozessen, die in nachhaltigen und sicheren Technologien für eine möglichst CO₂-freie Energieversorgung eingesetzt werden können.

PSI-Forschende arbeiten an Verfahren zur CO₂-neutralen Erzeugung von Energieträgern – sei es mithilfe hochkonzentrierter Sonnenstrahlung, sei es auf Grundlage von Biomasse wie etwa Holz, Gülle oder Klärschlamm. Für eine nachhaltige Energienutzung ist auch die Möglichkeit, Energie zu speichern, wesentlich. Das PSI beteiligt sich an dieser Forschung insbesondere mit seinen Arbeiten zu Lithium-Ionen-Batterien. Ein weiteres Forschungsthema sind Brennstoffzellen, die aus der Verbindung von Wasserstoff und Sauerstoff elektrische Energie und als «Abfallprodukte» Wasser und Wärme erzeugen. Hier unterhält das PSI u.a. eine Kooperation mit der Firma Belenos Clean Power AG.

Ein wichtiges Thema der Energieforschung am PSI sind Arbeiten zur sicheren Nutzung der Kernenergie. Ein Schwerpunkt der Forschung ist dabei, die Vorgänge in Kernkraftwerken noch besser zu verstehen, um so zu deren sicherem Betrieb beizutragen. Hinzu kommen geologische Untersuchungen, die Grundlage für die Suche nach geeigneten Standorten für die Lagerung radioaktiven Abfalls sein sollen.

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

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

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

In der Halle der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS.



Das PSI im Überblick

Ausgaben 2010

Die Ausgaben des PSI beliefen sich 2010 auf 329,2 Mio. Franken:

Die Finanzen des PSI (Mio. Franken)

Ausgaben	Betrag	%
Betrieb	272,5	82,8
Investitionen	56,7	17,2
Gesamt*	329,2	100,0
<i>Mittelaufteilung</i>		
Finanzierungsbeitrag Bund	241,7	73,4
Drittmittelausgaben	87,5	26,6
Drittmiteleinnahmen		
Privatwirtschaft	28,8	39,4
Forschungsförderung Bund	23,1	31,6
EU-Programme	5,3	7,2
Andere Einnahmen	15,9	21,8
Gesamt	73,1	100,0

*inklusive Personalausgaben von 208,9 Mio. Franken (63,4% der Gesamtausgaben), wovon 16,4 Mio. Franken in die Investitionsrechnung geflossen sind.

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

Festkörperforschung und Materialwissenschaften	38%
Allgemeine Energie	19%
Lebenswissenschaften	16%
Nukleare Energie und Sicherheit	15%
Teilchenphysik	12%

Personal

Die Mitarbeiterzahl am PSI entsprach Ende 2010 rund 1400 Vollzeitstellenäquivalenzen. Davon entfielen 481 Stellen auf wissenschaftliches Personal. Hinzu kommen 197 angestellte Doktorierende, die in der Gesamtmitarbeiterzahl noch nicht berücksichtigt sind. 726 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. 23,4 Prozent der Mitarbeitenden sind Frauen, 44 Prozent sind ausländische Staatsbürger.

Organisation

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

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

Beratende Organe

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

Impressum

Fenster zur Forschung
Ausgabe 01/2012
Paul Scherrer Institut, Januar 2012
ISSN 1664-8854

Herausgeber: Paul Scherrer Institut

Die Publikation «Fenster zur Forschung»
erscheint dreimal jährlich.

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

Redaktion:
Alexandra von Ascheraden (Ltg.),
Dagmar Baroke, Michael Keller,
Dr. Paul Piwnicki

Gestaltung und Layout: Irma Herzog

Bildbearbeitung: Markus Fischer

Lektorat: Evelyne Gisler

Originalveröffentlichungen zum Beitrag
auf Seite 6:

**Detection of Weak Absorption
Changes from Molecular
Events in Time-Resolved FT-IR
Spectromicroscopy Measurements of
Single Functional Cells**

L. Quaroni, T. Zlateva, E. Normand
Analytical Chemistry **83**; 7371 (2011)

Bildlegenden für ganzseitige Fotos:
Seite 3: Der Chemiker Luca Quaroni
bereitet ein Experiment an der
Infrarotstrahllinie der SLS vor.

Seite 16: Teilchenspuren im CMS-
Experiment am CERN. In der Bildmitte
entstehen bei Protonenkollisionen neue
Teilchen, deren Spuren hier in violett
und rot sichtbar gemacht worden sind.
Die beiden roten Spuren stammen von
Myonen, die wahrscheinlich aus dem
Zerfall eines B_s-Mesons stammen. In rot
sind die Detektoren dargestellt, in denen
diese Myonen nachgewiesen wurden. In
hellen Farben ist der Gesamtaufbau der
Anlage angedeutet.

Seite 20: Luftaufnahme des Paul Scherrer
Instituts.

Fotoaufnahmen:
Alle Fotos Scanderbeg Sauer
Photography, ausser:
Seiten 6, 8 Frank Reiser
Seiten 7 links, 14 Bildarchiv PSI
Seite 19, 20, 22 Markus Fischer

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

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

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

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

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

PAUL SCHERRER INSTITUT



Das Paul Scherrer Institut PSI ist ein Forschungszentrum für Natur- und Ingenieurwissenschaften. Am PSI betreiben wir Spitzenforschung in den Bereichen Materie und Material, Mensch und Gesundheit sowie Energie und Umwelt. Durch Grundlagen- und angewandte Forschung arbeiten wir an nachhaltigen Lösungen für zentrale Fragen aus Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft. Mit rund 1400 Vollzeitstellenäquivalenten sind wir das grösste schweizerische Forschungsinstitut. Wir entwickeln, bauen und betreiben komplexe Grossforschungsanlagen. Jährlich kommen rund 2000 Gastwissenschaftler aus der Schweiz, aber auch aus der ganzen Welt zu uns. Genauso wie die Forscherinnen und Forscher des PSI führen sie an unseren einzigartigen Anlagen Experimente durch, die so woanders nicht möglich sind.