

Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

03 / 2017

NOVEMBER



SCHWERPUNKTTHEMA

BLICK IN DIE VERGANGENHEIT

SCHWERPUNKTTHEMA: BLICK IN DIE VERGANGENHEIT



INTERVIEW

Durchleuchtung für Paläontologen und Archäologen

Federica Marone durchleuchtet Objekte mit hochintensiven Röntgenstrahlen, Eberhard Lehmann mit Neutronen. Beide haben mit ihren Anwendungen schon Paläontologen und Archäologen einen neuen Blick in die Vergangenheit eröffnet.

Seite 10



Umschlag: Mit Neutronen durchleuchtet: Die 51 Zentimeter hohe Statue der buddhistischen Gottheit Tara aus dem Jahr 1708.

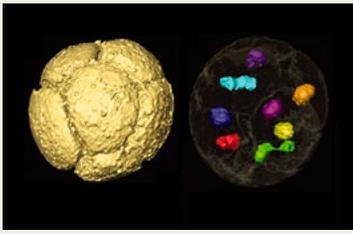
HINTERGRUND

Vom goldenen Kaiser zum gefüllten Buddha

Mit Hilfe von Neutronen werden am PSI antike Metallobjekte durchleuchtet. Dadurch erkennen Forscher, was in ihrem Innern verborgen ist, wie sie hergestellt wurden – und wie sie sich erhalten lassen.

Seite 18





570 Mio. Jahre

INFOGRAFIK

Die Vergangenheit zu Besuch am PSI

Fossile Einzeller, bronzzeitliche Waffen und antike Statuetten: Ein Zeitstrahl zeigt eine Auswahl der paläontologischen und historischen Gegenstände, die mit PSI-Methoden untersucht wurden.

Seite 9



«Silver Lama» (Neutronenbild),
17. oder 18. Jahrhundert, Tibet

Aus Bronze und Silber gefertigt; im
Hohlraum befinden sich kleine Schrift-
rollen mit buddhistischen Texten.

INHALT

NACHGEFRAGT

Was machen Sie da, Herr Mesot? 4

DAS PRODUKT

Computer 6

DAS HELFERLEIN

Alufolie 7

SCHWERPUNKTTHEMA:

BLICK IN DIE VERGANGENHEIT 8

INFOGRAFIK

Die Vergangenheit zu Besuch am PSI 9

INTERVIEW

Durchleuchtung für Paläontologen
und Archäologen 10

HINTERGRUND

Vom goldenen Kaiser zum
gefüllten Buddha 18

IM BILD

Marta Divall 21

IN DER SCHWEIZ

Mit Blaulicht in die Gefahrenzone 22

Im Ernstfall müsste sie auch auf die A1: Auf Übung mit
der PSI-Strahlenwehr.

IN KÜRZE

Aktuelles aus der PSI-Forschung 26

- 1 Magnetische Mustergeflechte
- 2 Diesel vs. Benziner
- 3 Die Stacheln der Viren
- 4 Sonne speichern

GALERIE

«Kann man am PSI auch arbeiten,
ohne studiert zu haben?» 28

Ob Elektroniker oder Physiklaborantin: hier ist jeder Teil
vom grossen Ganzen.

ZUR PERSON

Physiker mit Verkaufstalent 34

Einst forschte Thilo Herrmannsdörfer mit Neutronen.
Heute ist er Marktleiter bei Swiss Re.

WIR ÜBER UNS 38

IMPRESSUM 40

AUSBLICK 41

Herr Mesot, das Motto des PSI lautet «Wir schaffen Wissen – heute für morgen». Wohin schweift nun der Blick in die Vergangenheit?

1

Im Moment nicht in die eigene, das heben wir uns für nächstes Jahr auf, wenn das PSI 30 Jahre alt wird. Und unser Motto verstehen wir weit gefasst: Natürlich geht es am PSI zum grossen Teil darum, Grundlagen für die Entwicklung von Medikamenten oder Energietechnologien zu schaffen, die unser Leben besser machen werden. Aber ich finde, dass die Zukunft auch dadurch besser wird, dass wir die Vergangenheit genauer verstehen. Und dazu tragen unsere Untersuchungen zum Urknall, die an einem Physikinstitut naheliegend sind, genauso bei wie unsere etwas exotischeren Forschungsprojekte zur biologischen Evolution oder zu kulturgeschichtlichen Fragen.

Wie darf man sich denn Vergangenheitsforschung an einem Physikinstitut vorstellen?

2

Ganz einfach: Die naturwissenschaftlichen Untersuchungsmethoden, die am PSI verfügbar sind, helfen immer wieder, in die Vergangenheit zu schauen. Zum Beispiel nutzen einige PSI-Forschende das natürliche Archiv aus Schnee und Gletschereis, um die Temperaturverläufe der vergangenen Jahrhunderte jeweils für verschiedene Kontinente zu ermitteln. Diese Daten helfen wiederum Klimaforschenden, ihre Modelle zu verbessern, sodass auch die Vorhersagen zur zukünftigen Klimaentwicklung genauer werden. In etlichen anderen Kooperationsprojekten – und diese stellen wir in der vorliegenden Ausgabe des 5232 vor – arbeiten PSI-Forschende mit Kunsthistorikerinnen, Archäologen oder Paläontologinnen zusammen. Dabei werden deren Forschungsobjekte an den hiesigen Grossforschungsanlagen untersucht. Denn unsere schweizweit, teilweise sogar weltweit einmaligen Grossforschungsanlagen stehen grundsätzlich allen Wissenschaftszweigen offen. Gewiss haben wir nicht primär an die Erforschung der Vergangenheit gedacht, als wir die Anlagen gebaut haben. Aber auch das macht eine gute Forschungsanlage aus: dass ihr Potenzial sich als sehr viel grösser herausstellt, als man es am Anfang denkt.

Und wie finden PSI-Forschende mit Archäologinnen, Kunsthistorikern und Paläontologen zusammen?

3

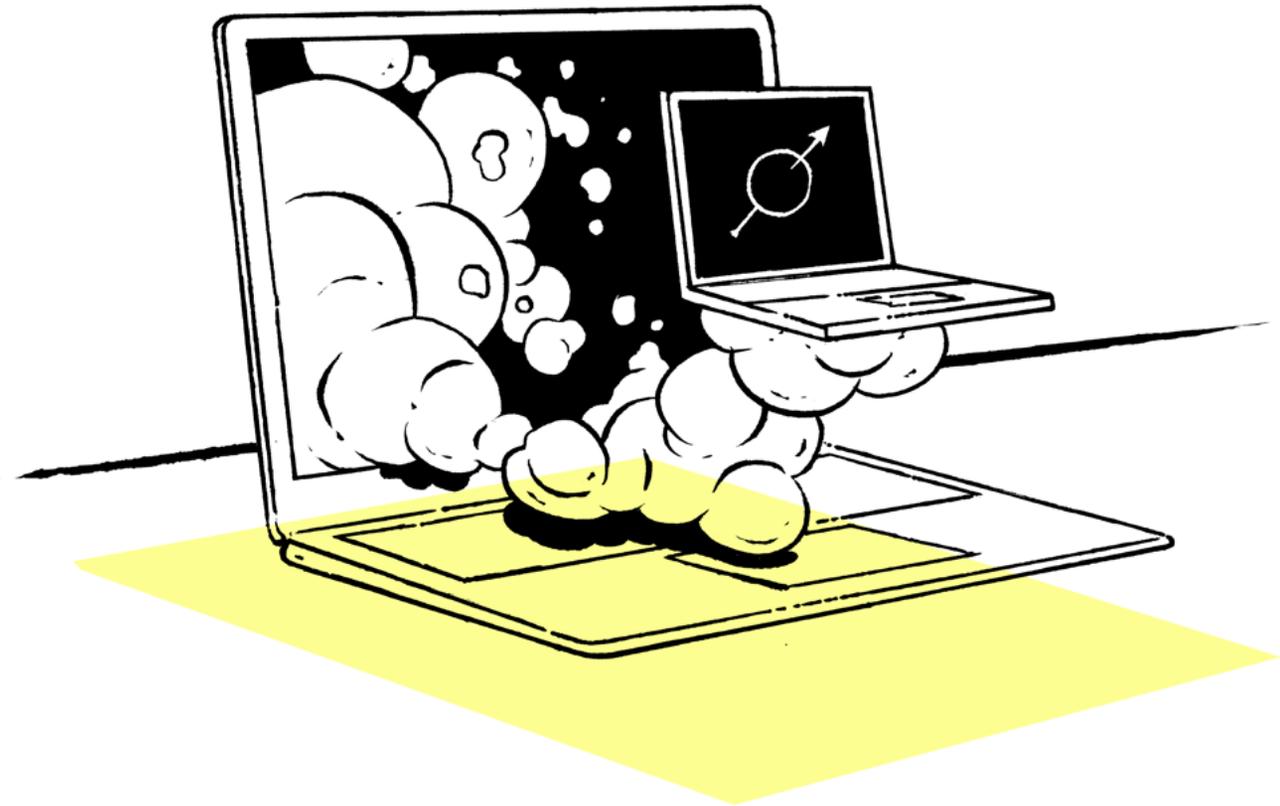
Die PSI-Forschenden sind es gewohnt, mit Forschern anderer Fachgebiete zusammenzuarbeiten. Dabei sind sie bereit, weit über den Tellerrand ihrer eigenen Forschungsthemen zu schauen und auf Menschen zuzugehen, die auf ganz anderen Gebieten arbeiten: Motorenentwickler, Pflanzenforscher, Brennstoffzellen-Ingenieurinnen oder eben auch Paläontologinnen und Archäologen. Aktuell haben wir ein Projekt mit der Hochschule der Künste Bern und dem Schweizerischen Nationalmuseum, in dem wir eine Technik zur Konservierung von historischen Gegenständen untersuchen. Der Gedanke, dass wir als PSI auch einen Beitrag zur Bewahrung unseres kulturellen Erbes leisten können, freut mich.



Was machen Sie da, Herr Mesot?

NACHGEFRAGT

Das Schwerpunktthema dieser Magazinausgabe lautet «Blick in die Vergangenheit». Erwartet man von einem Forschungsinstitut wie dem PSI nicht eher, dass es Technologien für die Zukunft entwickelt? Joël Mesot, Direktor des Paul Scherrer Instituts PSI, antwortet.



So manches, was am PSI untersucht wird, könnte eines Tages dazu beitragen, ein Alltagsprodukt zu verbessern. Zum Beispiel

Computer

Kleiner, dichter, schneller: Die Hersteller von Computern und deren Speichermedien schaffen es seit Jahrzehnten, dass immer mehr Daten auf immer kleineren Raum passen. Inzwischen sind die magnetischen Speicherbits so klein, dass es in Richtung Nanowissenschaften geht – also Nanomagnetismus. In diesem Forschungsbereich arbeiten auch Forschende am PSI. Unter anderem haben sie gezeigt, dass auch ein Laserstrahl Daten auf magnetischen Speichermedien bannen kann: Das Laserlicht heizt präzise einzelne Stellen auf und ändert dadurch gezielt die Richtung der Magnetisierung winziger Speicherbits. Dank dieser Methode liesse sich nicht nur die Grösse der einzelnen Bits noch weiter schrumpfen, sodass mehr Daten auf eine Festplatte passen – zwei erfreuliche Nebeneffekte wären, dass sich per Laser die Daten deutlich schneller und mit einem geringeren Stromverbrauch als bisher speichern liessen.

In der Spitzenforschung kommen manchmal überraschend alltägliche Hilfsmittel zum Einsatz: Verbrauchsmaterialien, die Forschende auf Grund ihrer Eigenschaften schätzen und zweckentfremdet benutzen. Zum Beispiel

Alufolie

Alufolie – aus ganz normalen Haushaltsrollen – ist ein allgegenwärtiges Helferlein am PSI: An etlichen der oft raumgrossen Experimentieraufbauten wird sie eingesetzt. Die ineinander verschlungenen Rohre und Verbindungen sind dann mit der silbernen Folie umhüllt. Das Material dient dabei als Wärmeisolierung. Denn oft müssen Teile des Experiments aufgeheizt werden. Im Inneren soll dabei die Wärmeverteilung effizient und gleichmässig erfolgen; aussen dagegen soll nicht gleich die ganze Halle mitgeheizt werden. Dass dann ausgerechnet Alufolie als Isoliermaterial zum Einsatz kommt, liegt daran, dass sie günstig ist und zudem sehr einfach formbar. Dadurch lässt sie sich leicht anbringen und – wenn man doch wieder an die Rohre muss – auch wieder abnehmen.

Auch sonst liegt die Alurolle stets griffbereit: Wer für empfindliche Proben einen sauberen Arbeitsbereich braucht, reisst einfach ein Stück frischer Folie ab und schafft sich damit auf jedem beliebigen Tisch eine kleine, reine Arbeitsfläche.



Blick in die Vergangenheit

Paläontologische und archäologische Objekte sind manifestierte Vergangenheit. Weil viele dieser Gegenstände kostbar und einmalig sind, darf ihre Erforschung nicht auf Kosten ihrer Unversehrtheit gehen. Hier erhalten Forschende Hilfe von zwei am PSI etablierten zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden: der Bildgebung mit Synchrotron-Röntgenstrahlung und derjenigen mittels Neutronen.



2

HINTERGRUND

Vom goldenen Kaiser
zum gefüllten Buddha

Seite 18

Büste des Kaisers Marc Aurel,
um 180 n. Chr.

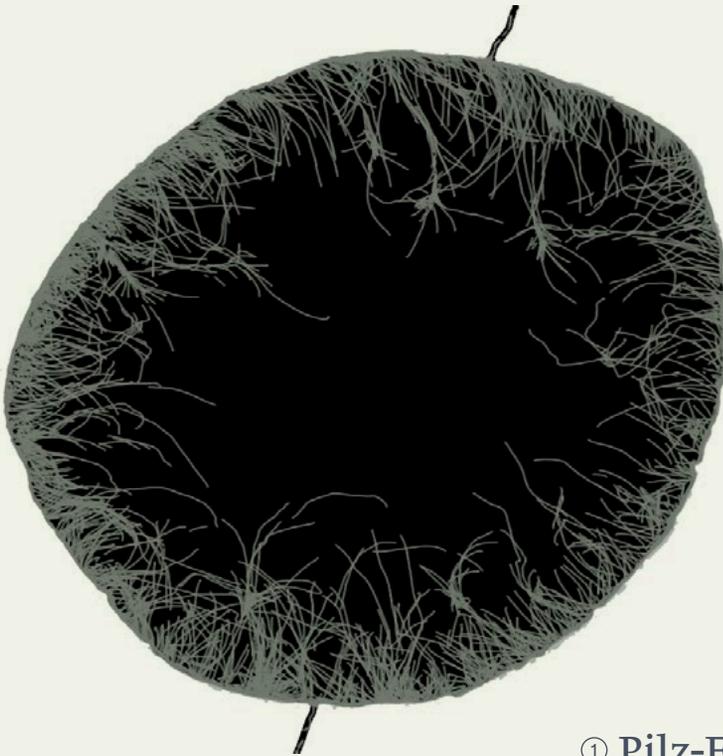


INTERVIEW

Durchleuchtung für Paläontologen
und Archäologen

Seite 10

1



① Pilz-Filamente,
2,4 Mrd. Jahre alt

Fossile fadenförmige Pilzstrukturen
in einem millimeterkleinen Gesteins-
hohlraum (hier abgebildet: nachgestellte
Computersimulation).

INFOGRAFIK

Die Vergangenheit zu Besuch
am PSI

Seite 9–23

3

Die ältesten bislang am PSI untersuchten
Objekte sind mehr als zwei Milliarden
Jahre alt: Fossilien, die frühe Formen
des Lebens auf der Erde dokumentieren.
Chronologisch führt dieser Zeitstrahl
durch eine Auswahl der paläontologischen
und historischen Gegenstände, die mit
PSI-Methoden erforscht wurden – bis hin
zu Musikinstrumenten und einer Statuette
aus der Neuzeit.

3 Mrd. Jahre vor unserer Zeit

2,5 Mrd. Jahre

2 Mrd. Jahre



Durchleuchtung für Paläontologen und Archäologen

Das Innere von Fossilien und Artefakten, die Hunderte, Tausende, ja manchmal Millionen Jahre alt sind, lässt sich an zwei Forschungsanlagen des PSI untersuchen. Ein Gespräch mit Federica Marone und Eberhard Lehmann, die mit ihren Methoden einen neuen Blick in die Vergangenheit eröffnen.

Interview: Luise Loges

2 Mrd. Jahre

1,5 Mrd. Jahre

Eberhard Lehmann

wurde 1952 in Sachsen geboren, studierte und promovierte dort in Physik. 1991 kam er ans PSI, wo er an der Spallations-Neutronenquelle SINQ des PSI die Bildgebungstechniken mit Neutronen weiterentwickelte und bis zu seiner Pensionierung im Jahr 2017 eine eigene Forschungsgruppe leitete. An deren Messplätzen werden sowohl antike Objekte durchleuchtet als auch Autobauteile, Pflanzenwurzeln und vieles andere.

Federica Marone

ist Jahrgang 1975 und wuchs im Tessin auf. Sie studierte Erdwissenschaften an der ETH Zürich, wo sie auch promovierte. Seit 2006 ist sie Strahllinienwissenschaftlerin an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI. Gemeinsam mit externen Forschenden untersucht sie hier mit Röntgenstrahlen regelmässig paläontologische Proben, aber auch neue Batteriematerialien und Brennstoffzellen.

Frau Marone, Herr Lehmann – Paläontologen und Archäologen kommen regelmässig zu Ihnen, um mit Ihren zerstörungsfreien Untersuchungsmethoden ins Innere von Fossilien und antiken Objekten zu schauen. Woher wissen sie eigentlich, dass ihre Fragen am PSI beantwortet werden können?

Marone: In unserer Arbeitsgruppe an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS begann diese Zusammenarbeit vor mehr als zehn Jahren. Mein Kollege Marco Stampanoni ist auf einen Artikel eines Professors in England aufmerksam geworden, in dem [④ fossile Embryos eines wurmähnlichen Lebewesens](#) vorgestellt wurden. Die Forschenden hatten diese Fossilien nur von ihrer äusseren Struktur her analysiert – an unserem Messplatz hätten sie zusätzlich auch das Innere dieser etwa einen Millimeter kleinen Kügelchen anschauen können. Deswegen hat Stampanoni die Leute kontaktiert und eingeladen: Die wussten nichts von Synchrotron und Tomografie, haben dank uns aber festgestellt, dass sie so ganz neue Erkenntnisse gewinnen konnten. Und nachdem die ersten gemeinsamen Artikel veröffentlicht wurden, haben sich auch andere Paläontologen bei uns gemeldet.

Lehmann: Bei uns war es ähnlich: Ursprünglich wusste kein Historiker, was unsere Methode kann, aber nachdem die ersten Beispiele veröffentlicht wurden, hat sich das herumgesprochen. Unsere ersten «Kunden» kamen vom Vindonissa-Museum Brugg, also nur wenige Kilometer vom PSI entfernt. Die brachten uns in den 1990er Jahren ein römisches Schwert, einen sogenannten [⑩ Gladius](#), der damals gerade entdeckt worden war. Den haben wir analysiert und herausgefunden, dass die hölzerne Schwertscheide noch erhalten war. Zwar war diese über die Jahrhunderte so stark mit der Klinge zusammenkorrodiert, dass man sie mit blossem Auge nicht mehr erkennen konnte, aber mit den Neutronen konnten wir die Holzmaserung sehr gut sichtbar machen.

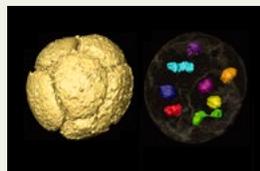
Was kann man durch die Messmethoden, die am PSI angewendet werden, noch über antike Objekte oder paläontologische Proben herausfinden?

Marone: Mit Röntgentomografie können wir das Innere von Gegenständen und Materialien untersuchen, ohne sie zu zerstören. Das ist sowohl für die Archäologie als auch für die Paläontologie wichtig, denn oft sind die Objekte einzigartig.



② Rote Alge, 1,6 Mrd. Jahre alt

Fossile rote Alge, Länge: 0,5 Millimeter. Die Röntgen-Mikrotomografie des PSI offenbart die einzelnen Zellen und in jeder von ihnen ein Zell-Organ (grün eingefärbt).



③ Zellteilung, 570 Mio. Jahre alt

Ein früher Organismus wurde während der Zell- und Zellkernteilung zum Fossil. Die beiden in der rechten Ansicht grün eingefärbten Zellkerne hängen gerade noch zusammen.

1 Mrd. Jahre

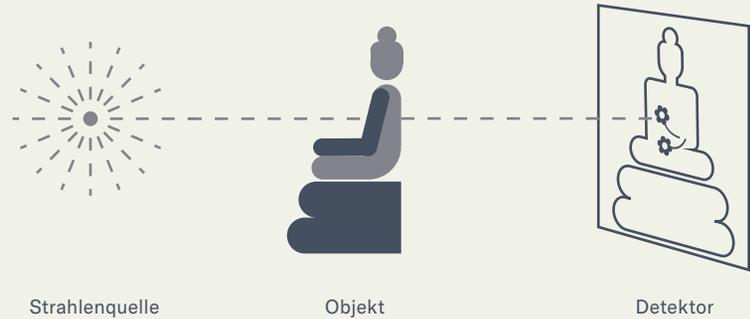
0,5 Mrd. Jahre

Bildgebung mit Röntgenstrahlen und Neutronen am PSI

Sowohl Röntgenlicht als auch Strahlen von geradlinig fliegenden Neutronen können Objekte «durchleuchten», wodurch sich zerstörungsfrei ihr Inneres abbilden lässt. Ähnlich wie beim medizinischen Röntgen ergibt sich das Bild als eine Art Schatten des Objekts. Dabei sind je nach Material und Fragestellung entweder Röntgen- oder Neutronenstrahlen besser geeignet. Ein markanter Unterschied ist, dass Neutronen sichtbar machen können, was hinter Metall verborgen liegt, wohingegen Röntgenstrahlen grösstenteils von Metall blockiert werden.

Zusätzlich zu Durchleuchtungsbildern lässt sich mit beiden Strahlungsarten auch eine dreidimensionale, virtuelle Rekonstruktion des Objekts erstellen. Dafür wird es zunächst wiederholt aus jeweils verschiedenen Richtungen durchleuchtet; am Ende werden alle gesammelten Daten am Computer zu einem sogenannten Tomogramm zusammengeführt.

Am PSI steht extrem intensive Röntgenstrahlung an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS zur Verfügung, die hochauflösende Bilder ermöglicht. Die Spallations-Neutronenquelle SINQ erlaubt derweil die vergleichsweise seltene Bildgebung mit Neutronen.



Manchmal geht es aber nicht anders und die Paläontologen planen, eines ihrer Fossilien anzuschneiden. Dann bringen sie diese vorher zu uns, um mit Hilfe unserer Bildgebung zu entscheiden: Welches davon sollten sie anschneiden und wo genau, damit im Inneren möglichst wenig zerstört wird.

Andererseits können diese Forschenden schon durch das Betrachten unserer Bilder unglaublich viel über die Entwicklung von Pflanzen und Tieren herausfinden. Zum Beispiel haben wir Untersuchungen über [⑥ verknöcherte Kiefer](#) einiger prähistorischer Fischarten gemacht, und da konnte man sehr genau das Gewebe, die Zellen und alle Wachstumslinien sehen. Daraus konnten unsere Forschungspartner Schlüsse über die evolutionäre Entwicklung des Kiefers ziehen und feststellen: Zähne sind gleichzeitig oder zumindest kurz nach dem Kiefer vor mehreren hundert Millionen Jahren entstanden.

Lehmann: Die Röntgentomografie hat ihren «Pool» an Partnern und wir mit der Neutronenstrahlanalyse haben einen etwas anderen – wir haben deutlich mehr Historiker als Paläontologen. Das ergibt sich aus der Methodik: Während die Röntgentomografie eher auf die mikroskopischen Strukturen schaut und sehr ins Detail gehen kann, arbeiten wir auf einer gröberen Skala. Und: Mit den Neutronen werden ganz andere Materialien «durchsichtig» als mit den Röntgenstrahlen.

Was war die grösste Überraschung, die Sie während Ihrer Arbeit mit historischen Objekten erlebt haben?

Lehmann: Das war ganz sicher die Untersuchung [⑬ buddhistischer Statuen](#). Die kann man mit Röntgen nicht gut durchleuchten, weil sie aus Metall sind. Mit Neutronen sieht man aber: Die Statue ist



④ Embryo eines wurmähnlichen Lebewesens, 530 Mio. Jahre alt

Mit diesem etwa einen Millimeter kleinen Kügelchen begann die regelmässige Erforschung paläontologischer Fossilien an der SLS des PSI.



⑤ Kieferloser Fisch, 400 Mio. Jahre alt

Oben: Künstlerische Zeichnung eines ausgestorbenen Fisches, einem evolutionären Bindeglied zwischen den kieferlosen Wirbeltieren und den heutigen kiefertragenden. Unten: Mittels Röntgenstrahlen rekonstruierte Form der Hirnschale (gelb) und der Sinnesorgane (blau) des Fossils eines solchen Fisches.

500 Mio. Jahre

400 Mio. Jahre

hohl, und darin befinden sich Holz, Textil und auch Pflanzenmaterial, zum Beispiel Blumen. Wir machen das in Zusammenarbeit mit Michael Henss, der Experte für das Thema ist. Er hat uns den ersten dieser Buddhas gebracht – und das war für mich ein Aha-Erlebnis, was da so drin sein kann. Und dann waren wir natürlich neugierig und haben weitergeschaut. Wir haben inzwischen mehr als 60 solcher Statuen untersucht. In manchen waren Schriftrollen, in anderen Edelsteine, ganz unterschiedliche Sachen also.

Marone: Eine überraschende Erkenntnis, die bei uns vor Kurzem zutage kam, war, dass es Pilze schon viel länger gibt, als bisher angenommen. Bisher hat man gedacht, dass sie etwa 400 Millionen Jahre alt sind. Aber jetzt haben Partner von uns **① Spuren von Pilzen** in Gesteinsschichten gefunden, die bis zu 2,4 Milliarden Jahre alt sein könnten. Die Pilze sind in Rissen und Bläschen im Gesteininneren gewachsen. Ihre in den Rissen verzweigten und verwickelten Filamente sind als Fossilien erhalten geblieben. Das vergleichen die Paläontologen mit heutigen Pilzen und können dadurch die biologische Einordnung vornehmen.

Lehmann: Das Alter erkennt man daran, aus welcher Gesteinsschicht die Probe kam?

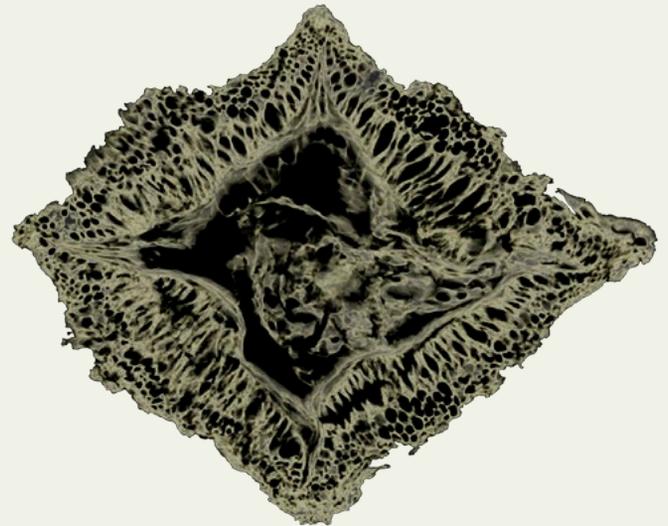
Marone: Genau. Die Gesteinsschicht wurde radiometrisch datiert, also anhand von natürlich darin vorkommender kleiner Mengen Blei und Uran. Ich bin immer fasziniert, welches Wissen diese Paläontologen haben. Sie kennen die Gesteine genauso perfekt wie die Biologie und Evolution und bringen das alles in Zusammenhang.

Lehmann: Das stimmt, man lernt bei dieser Arbeit wirklich sehr interessante Leute kennen – Menschen, die so einen hohen Bildungsstand erreicht haben, sind oft auch Typen für sich. Sicherlich finden sie umgekehrt auch uns ein wenig verschoben!

Wenn man in die Hallen von der Neutronenanalyse und der Röntgentomografie kommt, dann ist da ja alles sehr gross und technisch – eher ungewohnt für Ihre Kooperationspartner, nehme ich an?

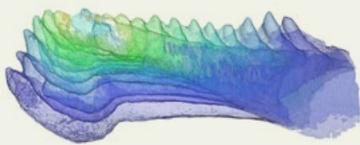
Marone: Ja, das stimmt schon. Wir versuchen immer, alles so einfach wie möglich zu gestalten und Hilfestellung zu geben, sodass unsere externen Partner sich bei uns zurechtfinden.

Lehmann: Partner, die schon ein paar Mal bei uns waren, machen inzwischen schon ihre eigenen Untersuchungen. Einige haben ganze Projekte, sogar Doktorarbeiten, am Laufen und kommen regelmässig wieder. Andere bringen auch einfach eine Probe, die wir dann untersuchen, denn wir wollen keine vollkommenen technischen Laien an unsere Geräte lassen.



⑦ Fossiler Pflanzensame Tomcatia, 110 Mio. Jahre alt

Blick ins Innere eines fossilen Samenkorns, das zerstörungsfrei mit Röntgenstrahlen an der SLS untersucht wurde. Aus der so erzeugten 3-D-Rekonstruktion lassen sich digitale Schnittbilder wie dieses durch beliebige Ebenen des Samenkorns erzeugen.



⑥ Kiefer eines urzeitlichen Panzerfischs, 380 Mio. Jahre alt

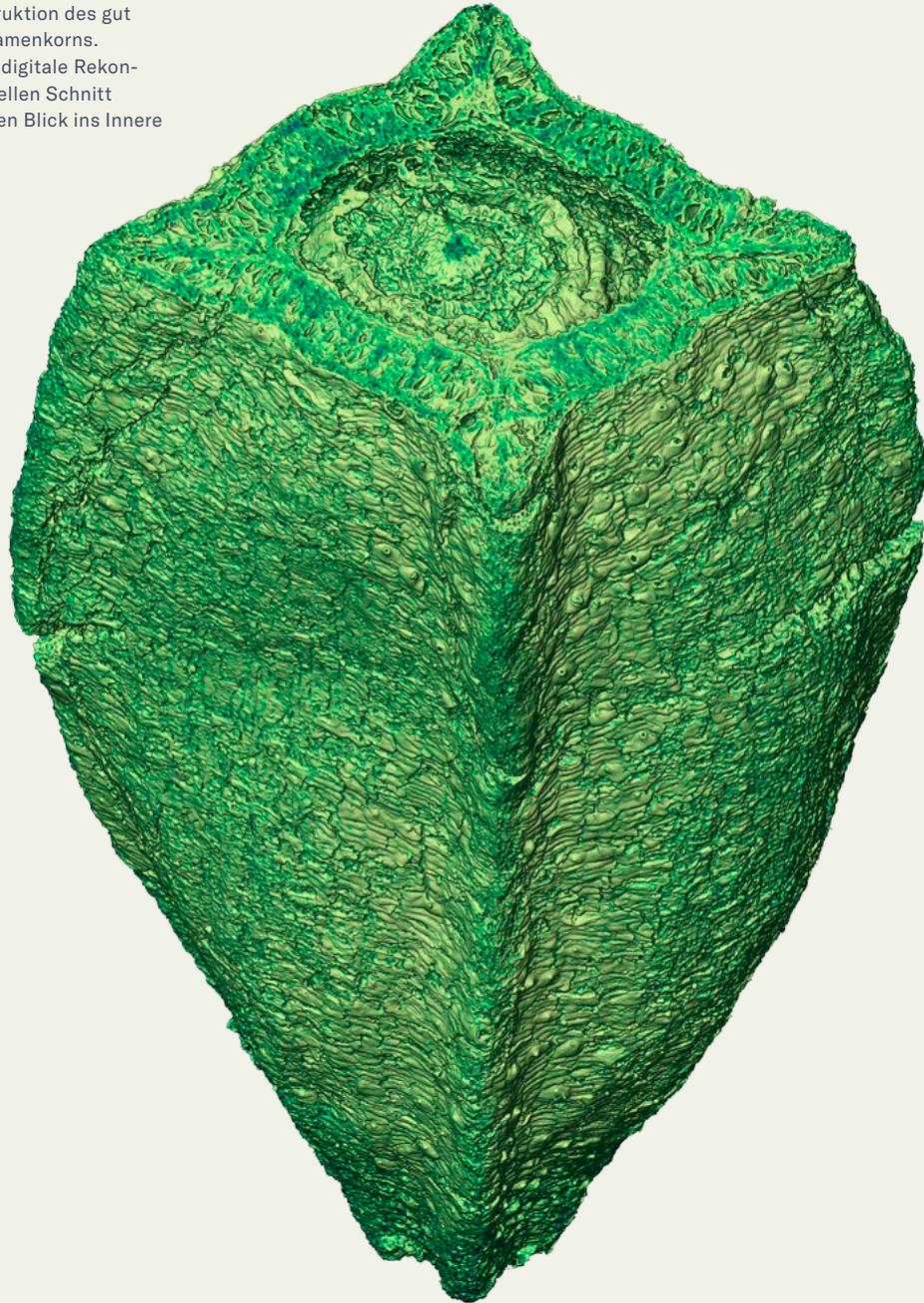
Untersuchungen mit Röntgenstrahlen zeigen: Die Evolution hat Kiefer und Zähne gleichzeitig oder fast gleichzeitig hervorgebracht.

⑧ Lignierispermum maroneae, 110 Mio. Jahre alt

(Siehe Seite 14)

⑧ *Lignierispermum maroneae*, 110 Mio. Jahre alt

Fossiles Samenkorn, das erstmals am PSI untersucht wurde und nach der beteiligten PSI-Forscherin Federica Marone benannt wurde. Mittels Röntgen-Mikrotomografie entstand eine komplette, detaillierte 3-D-Rekonstruktion des gut zwei Millimeter langen Samenkorns. Hier dargestellt ist diese digitale Rekonstruktion mit einem virtuellen Schnitt im oberen Bereich, der den Blick ins Innere des Samenkorns freigibt.



⑨ Bronzezeitliches Beil, um 1800 v. Chr.

(Bild und Beschreibung auf Seite 16)

2000 v. Chr.

1500 v. Chr.

1000 v. Chr.



«Schon durch das Betrachten unserer Bilder können Paläontologen unglaublich viel über die Entwicklung von Pflanzen und Tieren herausfinden.»

Federica Marone, Strahllinienwissenschaftlerin, PSI

Marone: Bei uns funktioniert das meistens schon. Wir helfen den externen Forschenden vor allem am Anfang, die richtigen Einstellwerte zu finden und erklären, wie das Gerät zu benutzen ist.

Lehmann: Manche unserer Benutzer kommen nur einmal, mit einer einzigen Probe ...

Marone: Oh, bei uns kommen manchmal welche mit hundert Proben auf einmal an. Ich selber fasse die Proben nie an, denn solche uralten Fossilien sind wie gesagt einzigartig und einige gehören Museen. Ich möchte nicht verantwortlich sein, wenn etwas damit passiert. Die Forscher montieren bei uns ihre Proben selbst.

Was muss man tun, um mit so einer anderen Wissenschaftskultur eine gemeinsame Sprache zu finden?

Lehmann: Voneinander lernen. Der Archäologe muss lernen, wie unser Tomografiebild interpretiert werden kann, und wir, was für Materialien und Methoden in einer bestimmten Zeit existierten. Manchmal stellen wir auch fest, dass wir gar nicht die richtigen Ansprechpartner sind, zum Beispiel, wenn etwas zu filigran ist. Dann schicken wir die zur SLS weiter. Deswegen ist der Dialog hier innerhalb des PSI auch ganz wichtig.

Marone: Auch bei uns funktioniert der Dialog ziemlich gut – unsere Partner sind meistens positiv interessiert, und wir wissen inzwischen auch, was realistisch ist und was nicht geht.

Eine letzte Frage: Gibt es ein Erlebnis, das Ihnen besonders in Erinnerung geblieben ist?

Marone: Das ist jetzt eine etwas spezielle Geschichte. Die Paläontologen, wenn sie bei uns untersuchen, entdecken ja immer wieder neue Arten, die sie dann benennen dürfen. Und eine Pflanzenart haben sie nach unserer Strahllinie ^⑦ [Tomcatia](#) genannt ...

Lehmann: Nicht nach dir?

Marone: Doch, nach mir wurde auch eine Art benannt, das ^⑧ [Lignierispermum maroneae](#), und nach meinem Kollegen Marco Stampanoni gibt es jetzt das Lobospermum stampanonii. Das war schon etwas ganz Besonderes für uns.

Lehmann: Mich begeistert ganz allgemein immer wieder die gute Zusammenarbeit mit den Archäologen. Zum Beispiel sind die Leute am Museum in Avenches vor Kurzem nach einer neuen Ausgrabung mit ihren ^⑪+^⑫ [Metallfunden](#) direkt zu uns gekommen. Das zeigt mir, wie sehr unsere Methode und der Beitrag, den wir damit in der Archäologen-Szene leisten können, sich dort inzwischen etabliert haben. ◆



^⑫ Armreif, 1. Jhd. n. Chr.

Dem römischen Armreif in den Hohlraum geschaut: Die Neutronenbildgebung offenbart unter anderem mehrere Metallkugeln (dunkelgrün eingefärbt).

^⑩ Gladius, erste Hälfte des 1. Jhd. n. Chr.

Dieses römische Kurzschwert – Gladius ist lateinisch für «Schwert» – stammt aus dem römischen Legionslager Vindonissa im heutigen Aargau. Neutronenbilder zeigen, dass seine hölzerne Schwertscheide mit der Klinge zusammenkorrodiert ist.

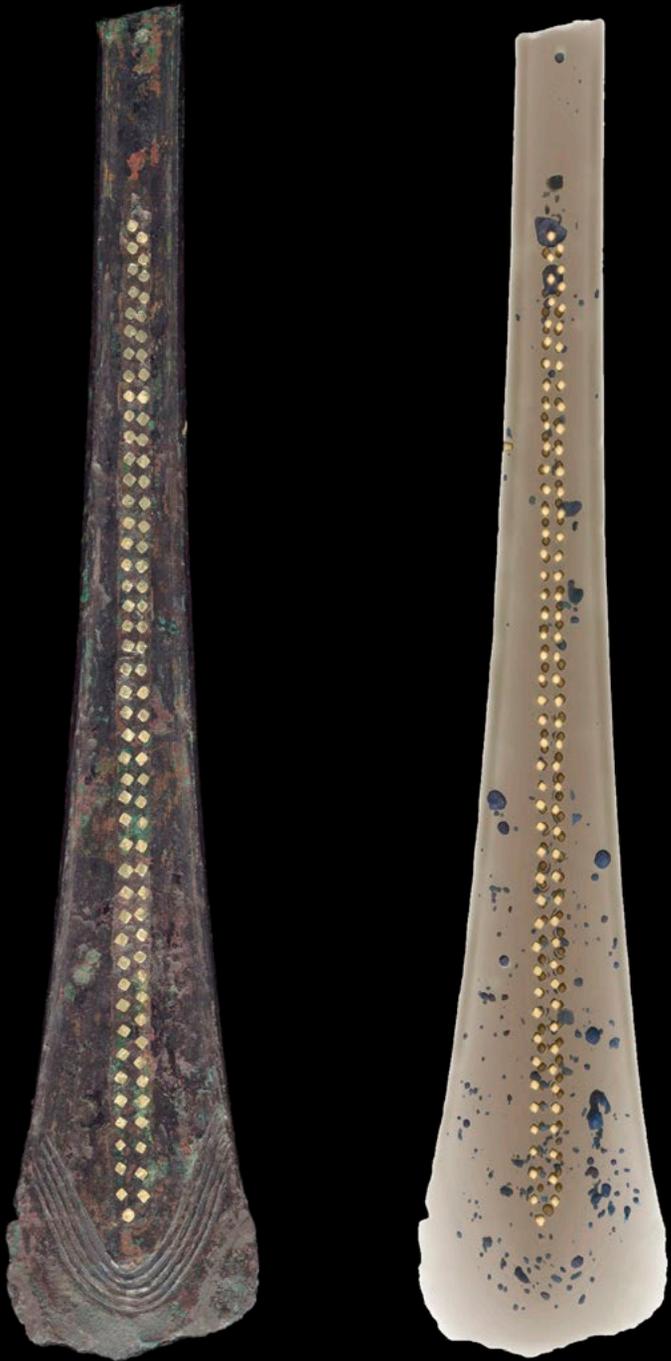
^⑪ Kosmetikset, 1. Jhd. n. Chr.

(Siehe Seite 18)



500 v. Chr.

0



⑨ Bronzezeitliches Beil, um 1800 v. Chr.

Eine 24 Zentimeter lange Beilklinge, die in einem bronzezeitlichen Grab in Thun-Renzenbühl gefunden wurde. Links eine Fotoaufnahme, rechts ein Neutronenbild. Die Neutronenbildgebung macht sichtbar, wie weit in die Tiefe die dekorativen Einlegearbeiten reichen, die aus einer natürlichen Gold-Silber-Legierung gefertigt sind. Blau eingefärbt sind kleine Hohlräume im bronzenen Beilkörper.



⑬ Merkur aus Thalwil, erstes Drittel des 2. Jhd. n. Chr.

In Thalwil am Zürichsee gefundene römische Statuette aus gegossener Bronze, 22 Zentimeter hoch. Mittels Neutronenbildgebung lässt sich der Herstellungsprozess nachvollziehen.



⑭ Büste des Kaisers Marc Aurel, um 180 n. Chr.

Bildgebung mittels Neutronen ermöglicht es, die Wandstärke der knapp lebensgrossen, hohlen Büste zu vermessen. Blau steht für 1,5 Millimeter, gelb für 0,6 Millimeter, rot für

0,1 Millimeter. So wird sichtbar: Die Büste scheint keine Nahtstellen von aneinandergesetzten Goldplatten zu haben, wurde also wahrscheinlich aus einer einzigen Goldplatte gefertigt.

500 n. Chr.





⑩ Buddha Shakyamuni, 14. oder 15. Jhd. n. Chr.

Sitzende Buddha-Statue aus West-Tibet, 15 Zentimeter hoch, aus Messing und Kupfer gefertigt, originalverschlossen. In Schwarz-Weiss gezeigt ist ein Neutronen-Durchleuchtungsbild, das vor allem in der unteren Hälfte des Hohlraums die eingeschlossenen Pflanzenteile offenbart. Die zudem sichtbare, gerade, oben spitz zulaufende Struktur ist aus Holz und symbolisiert den Lebensbaum.

Oben: Zwei weitere Darstellungen derselben Statue; dreidimensionale digitale Rekonstruktionen mit virtuellem Anschnitt.



⑪ Buddhistische Stupa, 13. oder 14. Jhd. n. Chr.

Die 35 Zentimeter hohe, hohle Skulptur enthält als Reliquien unter anderem kleine Schriftrollen mit buddhistischen Texten.

1000 n. Chr.

Vom goldenen Kaiser zum gefüllten Buddha

Mit den Neutronenstrahlen des PSI lassen sich Metallobjekte durchleuchten. Das hilft Archäologen nicht nur, zu sehen, was in deren Hohlräumen verborgen ist. Mit Unterstützung der Wissenschaftler am PSI können sie dadurch auch Erkenntnisse gewinnen, wie solche antiken Artefakte hergestellt wurden – und wie sie sich für die Nachwelt erhalten lassen.

Text: Luise Loges

Eine ^⑭ hohle Büste aus reinem Gold, entdeckt in einer römischen Abwasserleitung. Schon 1939, als Grabungshelfer in Avenches im Kanton Waadt das filigran gearbeitete Abbild des Kaisers Marcus Aurelius freilegten, war es eine Sensation. Seither hat das unschätzbare Objekt Archäologen und Kunsthistorikern als wichtige Quelle zur Erforschung der römischen Geschichte der Schweiz gedient. Doch die Wissenschaft blieb dort nicht stehen: 2006 kam die Büste vom Römermuseum in Avenches ans Paul Scherrer Institut. Hier sollte der goldene Kaiser sein letztes Geheimnis preisgeben: Wie konnten damalige Kunsthandwerker ein hohles Bild von Kopf, Hals und Schultern Marc Aurels erschaffen, bei dem keine Nahtstellen von aneinandergesetzten Goldplatten zu sehen waren? Eberhard Lehmann vom PSI hatte die Technologie, die Klärung bringen sollte: Bildgebung mit Neutronen, die das Metall quasi durchleuchten. Lehmann wusste allerdings: «Wir können hier nur Daten produzieren. Die Interpretationen dazu müssen die Archäologen liefern.»

Wie produktiv ihre Zusammenarbeiten sind, begeistert sowohl die Spezialisten für das Kulturerbe als auch den PSI-Experten für modernste Bildge-



^⑪ Kosmetikset, 1. Jhd. n. Chr.

Durch die Jahrtausende korrodiert, aber noch erkennbar: Ein römerzeitlicher Ring, an dem einst mehrere Utensilien für die Körperhygiene hingen. Noch vorhanden ist ein Stäbchen, vermutlich zur Ohrenreinigung.



^⑰ Avalokiteshvara, Anfang 15. Jhd.

Buddhistische Skulptur aus vergoldetem Kupfer. Die Neutronentomografie offenbart im Inneren unter anderem eine Samenkapsel (türkis eingefärbt), die symbolisch als Herz der Figur platziert wurde.



^⑱ Degen aus dem Zuger See, 15. Jhd.

Im Jahr 2010 im Uferbereich des Zuger Sees entdeckt ist der mittelalterliche Degen eine von nur drei erhaltenen Waffen vom Typ «Schweizer Degen». Mittels Röntgen- und Neutronenbildgebung entstand die hier gezeigte, virtuelle Rekonstruktion.

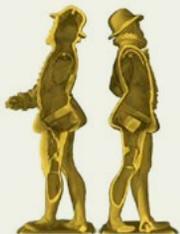
1400 n. Chr.

1500 n. Chr.



⑫ Armreif, 1. Jhd. n. Chr.

Der bauchige, einst aufklappbare Hohlraum eines römischen Armreifs. Da dieser mit der Zeit zukorrodieren sollte, die Neutronenbildgebung zeigen, was bis heute im Hohlraum verborgen ist. (Siehe auch Seite 15)



⑲ Schreitender Edelmann, Ende 16. Jhd.

Virtueller Blick in eine Renaissance-Bronzefigur aus dem Rijksmuseum Amsterdam: Die digitale 3-D-Rekonstruktion, die mittels Neutronentomografie entstand, lässt sich beliebig drehen, wenden und «öffnen».

bungstechniken. Doch es braucht dafür den Willen beider Seiten, aufeinander zuzugehen. Marie Wörle, Leiterin des Labors für Konservierungsforschung am Schweizerischen Nationalmuseum, schätzt das Vorgehen der Wissenschaftler an der Neutronenquelle: «Die Physiker vom PSI und wir haben eine ähnliche Arbeitseinstellung», findet sie. «Auf beiden Seiten herrscht eine sehr grosse Offenheit gegenüber neuen Themen und der Zusammenarbeit mit externen Wissenschaftlern.»

Neutronenbilder zeigen, wo die Korrosion zuschlägt

Gerade Kunsthistoriker, Archäologen und Konservierungsforschende wie Wörle profitieren von den Erkenntnissen, die die Bildgebung an der Neutronenquelle SINQ des PSI liefert: ⑳ Die spanische Figur eines Geigers aus dem Jahr 1920, die aus Holz gefertigt und mit einer Bleiverkleidung versehen wurde, offenbarte in den Neutronenbildern eine verborgene Korrosion: Das Blei zersetzt sich von innen heraus, weil aus dem Holz organische Säuren austreten. Ein zweites Beispiel sind ㉑ historische Blechblasinstrumente: Damit sie sowohl noch gespielt als auch bewahrt werden können, fand Wörle dank der Neutronen heraus, an welchen Stellen sich während der Nutzung Feuchtigkeitsblasen bilden. In einem weiteren Gemeinschaftsprojekt untersuchen derzeit die Forschenden des Schweizerischen Nationalmuseums, der Hochschule der Künste Bern und des PSI eine Konservierungstechnik für antike Objekte; dabei zeigen die Neutronenbilder, ob die Korrosionsbehandlung bis in die gewünschte Tiefe wirkt.

Neutronenstrahlen verraten, was sich im Inneren von Metallobjekten befindet, ohne sie zu zerstören. Denn die Neutronen durchdringen Materialien, an denen jeder Röntgenstrahl – das klassische Mittel zur zerstörungsfreien Untersuchung – scheitert. Das freut sowohl die Forschenden als auch die Museumsangestellten. «Es geht darum, einen Blick ins Innenleben der Objekte zu gewinnen», erklärt Myriam Krieg, Leiterin des Labors für Konservierung und Restaurierung am Römermuseum in Avenches. Etwa bei einem ⑫ Armreif, der einen bauchigen, einst aufklappbaren Hohlraum besass. Experten für die römische Periode der Schweiz wissen, dass in solchen mitunter eine Münze – vielleicht als Talisman – aufbewahrt wurde. Das besagte Schmuckstück war allerdings über die Jahrhunderte zukorrodieren. «Die Archäologen hätten die Kapsel nun

1600 n. Chr.

1700 n. Chr.

gerne aufgebrochen, um hineinzuschauen», erzählt Krieg. Für die Restauratorin unvorstellbar. Sie wandte sich stattdessen an das PSI: Die Untersuchung an der SINQ ergab, dass sich in dem Hohlraum keine Münze befand – sondern mehrere kleine Metallkügelchen und eine noch nicht näher identifizierte Substanz. Manchmal wirft eine neue Erkenntnis eben weitere Fragen auf.

«Sich gemeinsam an einen Tisch zu setzen und die Resultate zusammen zu besprechen, führt oft zu erstaunlichen Erkenntnissen», meint Krieg. Einer der neuesten Funde, den sie am PSI untersuchen liess, war ein «Necessaire»: ein ¹¹ Kosmetikset aus Messing, das die römischen Bewohner von Avenches mit in die Therme nahmen. Wie an einem Schweizer Taschenmesser hingen an diesem Ring unter anderem Klingen zur Entfernung von Körperhaaren und kleine Löffel, die der Ohrenreinigung dienen.

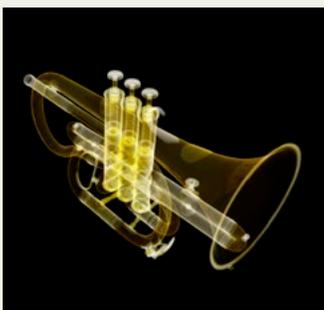
Für Kulturwissenschaftler wie Krieg ist die Atmosphäre am PSI eine neue Erfahrung: «Zutiefst beeindruckt – beinahe ehrfürchtig», so beschreibt sie ihre Gefühle, als sie das erste Mal die Hallen der Neutronenquelle SINQ betrat: Strenge Sicherheitsvorkehrungen, Kontaminationstests und Betonmauern, hinter denen der Neutronenstrahl auf antike Artefakte und andere Untersuchungsobjekte gerichtet wird, sind eher ungewohnt für Menschen, die ihrer Arbeit sonst in der vergleichsweise schlichten Atmosphäre eines Museumsbetriebs nachgehen.

Ein Untersuchungslabor «wie ein Atombunker»

Michael Henss, promovierter Kunsthistoriker und Experte für asiatische Kunst, beschreibt seinen ersten Eindruck noch dramatischer: «Man hat das Gefühl, in einen Atombunker zu kommen.» Henss hatte durch einen Kollegen von der Maschine gehört,

mit deren Hilfe man durch Metalle hindurchschauen könne. Das war genau, was er suchte: Im tibetischen und chinesischen Buddhismus werden seit etlichen Jahrhunderten ¹⁵–¹⁷ hohle Statuen aus Bronze, Messing und anderen Kupferlegierungen mit Weihgaben befüllt, die ihnen Leben und religiöse Bedeutung einhauchen sollen. Eine ganze Palette an Möglichkeiten gibt es da: heilsame Kräuter, Blumen, edle Hölzer, Schriftrollen mit Mantras, also buddhistischen religiösen Formeln, und einiges mehr. Das Ritual läuft nach strengen Regeln ab. Eine massive Metallplatte verschliesst den Boden der Buddhastatue. Sie zu öffnen, käme einer Entweihung gleich. Die Technologie der Neutronenbildung jedoch bringt den verborgenen Inhalt der Statuen ganz ohne dies ans Licht. Was für den Asien-Experten keine Überraschung darstellte, war für die PSI-Wissenschaftler hingegen neu. Tatsächlich zu sehen, was sich im Inneren der Skulpturen befindet, beeindruckte allerdings auch Henss. Aus dieser Kooperation erwachsen Folgeprojekte des PSI mit Henss sowie zahlreichen Museen und privaten Sammlern buddhistischer Kunst, und im Jahr 2014 sogar ein Symposium am Rietberg-Museum in Zürich. Henss ist begeistert: «Das ist wirklich eine seltene und faszinierende Zusammenarbeit zwischen Natur- und Kulturwissenschaft.»

Auch ¹⁴ Marc Aurels Geheimnis liess sich schliesslich dank der Neutronenbilder ergründen: Die Archäologen des Römermuseums in Avenches konnten dadurch erkennen, dass die nur rund einen Millimeter dicke Metallbüste sehr wahrscheinlich aus einer einzigen Goldplatte gefertigt war. Und nicht nur das: In den Neutronenbildern konnten die Archäologen sogar einzelne Hammerschläge der römerzeitlichen Erschaffer identifizieren und so die kunstvolle Arbeitsweise nachvollziehen, mit der die Büste einst gefertigt worden war. ♦



²⁰ Historisches Blechblasinstrument, 19. Jhd.

Neutronenbilder zeigen, an welchen Stellen im Inneren des Instruments sich die Feuchtigkeit aus der Atemluft des Musikers absetzt.



²¹ «Der Geiger», 1920

55 Zentimeter hohe Statuette des spanischen Künstlers Pablo Gargallo. Neutronenbilder machen die innenliegende Korrosion sichtbar (im rechten Bild rot eingefärbt).





Marta Divall

Marta Divall hat für den neu eingerichteten Freielektronen-Röntgenlaser SwissFEL ein Gerät entwickelt, das die Ankunftszeit eines Laserpulses im zu untersuchenden Objekt misst. Der Laser löst einen Vorgang im Objekt aus, der mit dem Röntgenlicht des SwissFEL quasi in Bildern festgehalten wird. Ziel ist es, den ganzen Vorgang wie in einem Film abzubilden. Divalls Messung hilft festzulegen, zu welchen Zeitpunkten die Bilder erzeugt wurden, und erlaubt somit, ihre Reihenfolge zu bestimmen.



IN DER SCHWEIZ

Mit Blaulicht in die Gefahrenzone

Die Strahlenwehr des PSI ist nicht nur für Einsätze im Institut, sondern im ganzen Kanton Aargau zuständig. Viermal im Jahr übt sie den Ernstfall.

Text: Joel Bedetti



Die Explosion im Labor hat das Fenster zerblasen und blaue Handschuhe sowie einen Behälter mit dem Strahlenwarnzeichen auf den Asphalt nach draussen gefegt. Männer in gelb-schwarzen Brandschutzanzen und beige Helmen hüpfen aus dem roten Mannschaftswagen der PSI-Strahlenwehr, ziehen sich Atemschutzgeräte an, rollen gelbes Absperrband aus, schwärmen mit Messgeräten aus und geben sich Befehle, bis klar ist, wer was zu tun hat; das unvermeidbare Durcheinander in den ersten Sekunden einer Ernstfallübung.

Drinne im Labor finden die Männer ihren Kollegen Can Yesiltepe, der einen Verletzten mimt. In einem Schleifsack transportieren sie ihn nach draussen und schneiden ihm den gelben Overall auf; die erste Grobdekontamination. «Jungs, das könnt ihr jetzt echt nicht bringen!», ruft Mathias Heusser, den Strahlenwehrchef Gabriel Frei zum Einsatzleiter bestimmt hat, als Yesiltepe in Unterhosen und Unterhemd auf der Blache liegt. Erst jetzt schirmen ihn die Strahlenwehrlern mit einer Zeltblache vor neugierigen Blicken ab.

Einige Minuten später beendet Gabriel Frei die Übung und befiehlt die 14 Männer ins «Daher», den militärischen Halbkreis. Frei, runde Brille und wacher Blick, zeigt zu den Fenstern eines Gebäudes neben dem Übungsgelände der Betriebsfeuerwehr. «Heute würde keine Minute vergehen, bis jemand mit dem Handy ein Foto geschossen hat. Und plötzlich ist der Verletzte in Unterhosen auf einem Online-Portal.» Abgesehen davon ist Frei zufrieden. Innert weniger Minuten haben die Strahlenwehrlern die Strahlenquellen im Gebüsch sowie hinter der Mauer zum Labor entdeckt und eine Gefahrenzone um die radioaktiven Quellen errichtet.

Miliztruppe mit Fachkenntnis

Die Strahlenwehr des PSI ist eine Einheit der Betriebsfeuerwehr des PSI. Die reguläre Löschmannschaft würde im Ernstfall auf dem Gelände des PSI

sowie des benachbarten ZWILAG, des zentralen Zwischenlagers für radioaktive Abfälle, in dem unter anderem die Brennstäbe aus den Kernkraftwerken gelagert werden, zum Einsatz kommen. Zudem unterstützt sie die Nachbarfeuerwehren Würenlingen und Geissberg, da diese tagsüber nur langsam mobilisierbar sind.

Die Strahlenwehr hingegen ist seit 2006 für den ganzen Kanton Aargau zuständig. Davor waren die elf Stützpunktfeuerwehren des Kantons dafür verantwortlich, hatten darin aber kaum Erfahrung. Ganz im Gegensatz zum PSI, in dessen Laboren regelmässig mit radioaktiven Materialien geforscht und hantiert wird. «Beim PSI ist jederzeit sichergestellt, dass das nötige Fachwissen vorhanden ist», begründet Thomas Aldrian vom Aargauer Departement für Gesundheit und Soziales den Entscheid.

Die 22-köpfige Strahlenwehr ist wie die gesamte PSI-Betriebsfeuerwehr eine Milizorganisation, doch viele ihrer Mitglieder haben auch beruflich mit Radioaktivität zu tun. Wie sieben weitere Mitglieder der PSI-Feuerwehr arbeitet Strahlenwehr-Chef Gabriel Frei im ZWILAG, wo er die Leitung des Strahlenschutzes übernehmen wird. Frei ist gelernter Kernkrafttechniker, war lange Operateur in Beznau und hat sich zum Strahlenschutz-Sachverständigen weitergebildet. Der Figurant Can Yesiltepe arbeitet als Strahlenschutzfachkraft im Rückbau einer Forschungsreaktoranlage des PSI. Es sei nicht einfach, die Arbeit in der Strahlenwehr und im Institut unter einen Hut zu bringen, sagt Frei. «Gerade bei Wissenschaftlern heisst es oft: Ich habe keine Zeit dafür.» Seine Truppe besteht zu 80 Prozent aus Technikern mit Berufslehre, nur wenige Forscher sind dabei. Der Einsatz in der Strahlenwehr ist für PSI-Mitarbeiter besonders aufwendig. Neben dem zweitägigen Grundkurs der Betriebsfeuerwehr müssen sie einen einwöchigen Spürkurs absolvieren, in dem sie die Bedienung der Strahlenmessgeräte und das Errichten einer Gefahrenzone lernen.

Für die zweite Übung hat Gabriel Frei auf dem Strassenabschnitt des Übungsgeländes mit zwei ausgemusterten PSI-Fahrzeugen einen Unfall auf der A1 nachgestellt. Ein Transportwagen mit verdächtigem Inhalt hat einen PKW gerammt. Bei dem Aufprall ist ein Paket mit Strahlenwarnsignal auf die Strasse geschleudert worden. Gemäss Frei kein unrealistisches Szenario. Kliniken transportieren so beispielsweise radioaktives Material für die Strahlentherapien.

Im Unterschied zum ersten Szenario, das auf dem PSI-Gelände spielte, muss die Strahlenwehr hier mit der örtlichen, ihr unbekannteren Feuerwehr kooperieren. Gabriel Frei spielt den ungeduldigen Kommandanten. «Sali», begrüsst er den Strahlenwehroffizier André Burkhard. «Ich möchte gerne

«Beim PSI ist jederzeit sichergestellt, dass das nötige Fachwissen vorhanden ist.»

Thomas Aldrian, Departement für Gesundheit und Soziales, Kanton Aargau



22

Mitglieder der
Strahlenwehr

4

Übungen pro Jahr

0

echte Einsätze
bisher

meine beiden Männer von der Unfallstelle weg haben, und der Polizei-Einsatzleiter möchte die Strasse so schnell wie möglich wieder geräumt haben.» Eine Minute Strassensperre auf der A1, erklärt Frei, verursache einen Kilometer Stau.

Das Handy nachts in Hörweite

Doch die Strahlenwehler lassen sich nicht beirren, errichten zunächst eine Gefahrenzone um die Unfallstelle und suchen dann mit ihren Messgeräten die örtlichen Feuerwehrmänner minutiös auf Kontamination ab, bevor diese den Einsatzort verlassen dürfen. Doch Gabriel Frei als Einsatzleiter macht weiter Druck. «Die NAZ will eine erste Lageanalyse», ruft er dem Strahlenwehroffizier Burkhard zu. Die nationale Alarmzentrale, die für solche Unfälle auf nationaler Ebene zuständig ist, hat im Kanton Aargau zusammen mit den kantonalen Behörden die alleinige Kompetenz, radioaktives Material abzutransportieren. Die kantonale PSI-Strahlenwehr darf es bloss identifizieren und eine Gefahrenzone darum errichten.

Nach der Übung – eine von vier im Jahr – retabliert die Strahlenwehr im PSI-Feuerwehrmagazin. Die Männer versorgen Schutzanzüge und Ausrüstung in den Spinden oder plaudern miteinander, die Hosenträger der Brandschutzhosen über den verschwitzten T-Shirts. Am Eingang des Magazins hängt ein Gebäudeplan des PSI, eine Liste mit wichtigen Handynummern. Einen Ernstfall hatte die PSI-Strahlenwehr noch nie, erinnert sich Gabriel Frei, bis auf einen Fehlalarm vor einigen Jahren. Doch jeder Strahlenwehler verbringt die Nacht mit dem Handy in Hörweite. Ruft die Einsatzzentrale, müssen sich alle, die irgendwie können, so schnell wie möglich im Magazin einfinden.

Statt dem üblichen Bier nach der Feuerwehrübung gibt es für die Strahlenschützer bloss eine Schachtel Kägi-Fret, die Klaus Hermle, der stellvertretende Kommandant der PSI-Feuerwehr, besorgt hat. Es ist kurz nach vier; die einen gehen in den Feierabend, die anderen zurück an die Arbeit. Can Yesiltepe, der Figurant aus der ersten Übung, hat bereits wieder sein blaues Technikertennee übergezogen, steigt auf sein Fahrrad und radelt davon. ♦

Aktuelles aus der PSI-Forschung

0,0001

Millimeter liegen die Punkte auseinander, für die die Forschenden jeweils die Richtung der «magnetischen Kompassnadeln» ermitteln konnten.

556 544

Ablenkungsmuster nahmen die Forschenden auf, um daraus hinterher am Computer eine digitale dreidimensionale Rekonstruktion des Objekts zu erstellen.

151 957

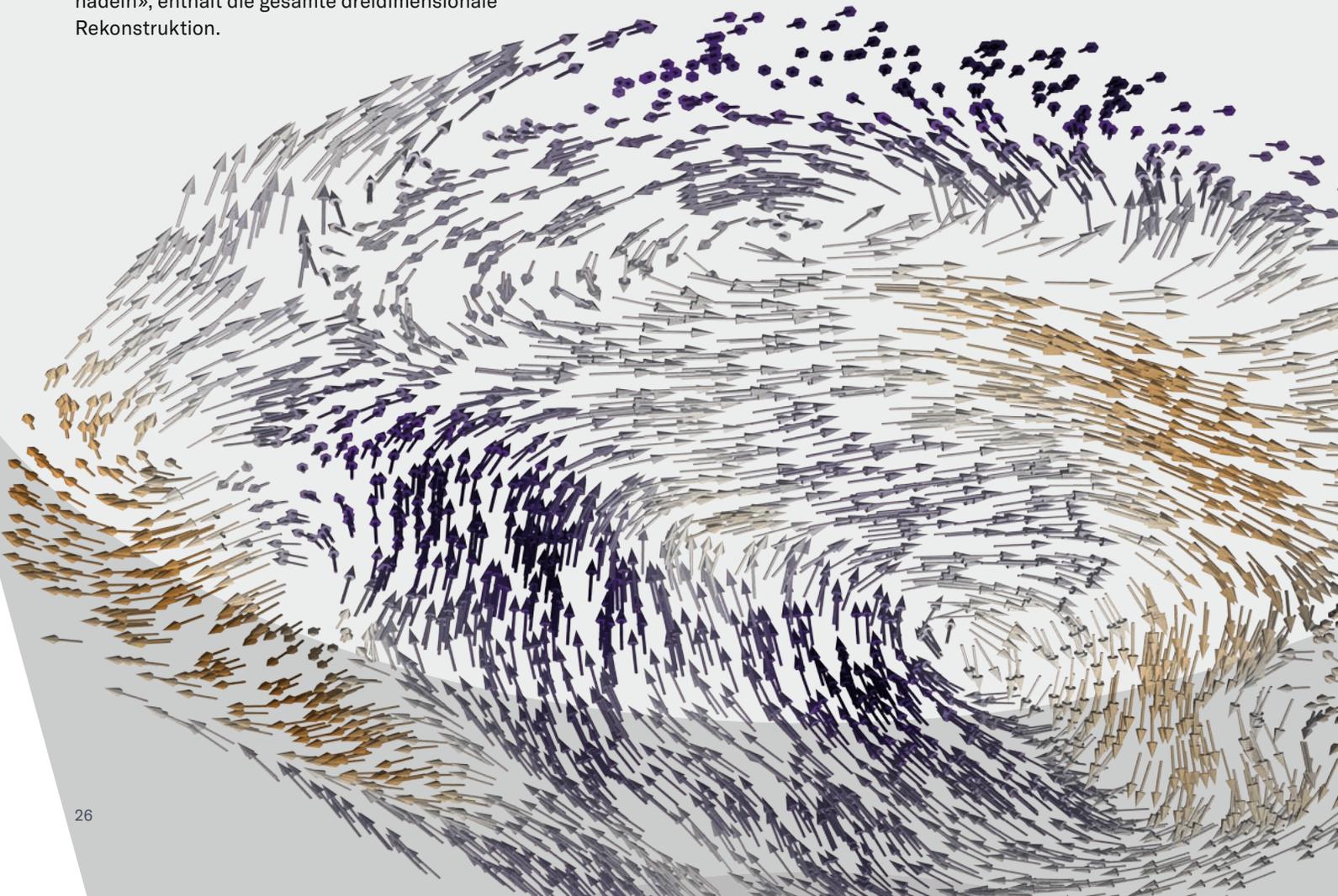
einzelne Pfeile, also «magnetische Kompassnadeln», enthält die gesamte dreidimensionale Rekonstruktion.

1 Magnetische Mustergeflechte

Magnete sind Teil unseres Alltags. Doch im Detail liess sich ihre innere magnetische Struktur bisher nur unzureichend abbilden. Mit einer am PSI neu entwickelten Technik – der Magnetotomografie mittels harter Röntgenstrahlung – gelang dies nun an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. In einem Gadolinium-Kobalt-Magnet konnten Forschende bis auf das Zehntausendstel eines Millimeters (100 Nanometer) genau an jedem Punkt die Richtungen der magnetischen Momente sichtbar machen. Diese kann man sich als winzige Kompassnadeln vorstellen, sie wurden als Pfeile bildlich dargestellt. Die neue Methode liess sich nutzen, um bessere, massgeschneiderte Magnete beispielsweise für Motoren und die Datenspeicherung herzustellen.

Weitere Informationen: <http://psi.ch/qG2P>

Originalveröffentlichung:
C. Donnelly et al., Nature 2017,
DOI: 10.1038/nature23006



2 Diesel vs. Benziner

Im Kontext des 2015 aufgedeckten Abgasskandals wurden die von Dieselfahrzeugen ausgestossenen Stickoxide ein grosses Thema. Stickoxide sind aber nicht die einzigen gesundheitsgefährdenden Stoffe, die in Auto-Abgasen enthalten sind. Gefährlich ist auch der kohlenstoffhaltige Feinstaub. PSI-Forscher haben nun zusammen mit Kollegen anderer Forschungseinrichtungen gezeigt, dass Benzinautos deutlich stärker zu kohlenstoffhaltigem Feinstaub beitragen als moderne Dieselfahrzeuge. Verantwortlich dafür ist vor allem der Kaltstart, also die kurze Zeitspanne direkt nach dem Anlassen des Motors und bevor sich der Autokatalysator aufgewärmt hat. Moderne Dieselfahrzeuge setzen dank der eingebauten Russpartikelfilter so gut wie keinen Feinstaub frei.

Originalveröffentlichung:

S.M. Platt et al., Scientific Reports 2017,
DOI: 10.1038/s41598-017-03714-9

3 Die Stacheln der Viren

Die Suche nach einem medizinischen Wirkstoff hat Forschende motiviert, die Aussenhülle bestimmter kugelförmiger Viren genau zu untersuchen. Es handelt sich um die sogenannten Coronaviren, zu denen unter anderem die Erreger der Atemwegserkrankungen SARS und MERS zählen. Coronaviren haben in ihrer Aussenhülle stachelartig herausstehende Proteine. Über diese dockt das Virus an die Zellen der befallenen Person an und leitet so die Krankheit ein. Die winzigen, S1 genannten Stachelproteine haben Forschende aus China und den USA zusammen mit PSI-Forschern an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS untersucht. Sie konnten hier erstmals die genaue Struktur des S1-Proteins bestimmen. Auch wenn noch unklar ist, wie genau das S1-Protein an die menschliche Zelle andockt, stellt dieses Forschungsergebnis doch einen Schritt in der Entwicklung einer Impfung oder eines Wirkstoffs gegen Coronaviren dar.

Originalveröffentlichung:

X. Ou et al., Nature Communications 2017,
DOI: 10.1038/ncomms15216

4 Sonne speichern

Damit Strom aus Sonnen- und Windenergie in Zukunft einen grösseren Beitrag zu unserer Energieversorgung leisten kann, muss er effizient gespeichert werden. Ein wichtiger Ansatz ist die Speicherung in Form von Wasserstoff. Dieser lässt sich gut lagern und kann in Brennstoffzellen jederzeit wieder in elektrische Energie umgewandelt werden. Forschende des PSI und der EMPA haben nun ein neues Material vorgestellt, das als Katalysator in sogenannten Elektrolyseuren dienen kann, in denen es die Aufspaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff beschleunigt. Das Material ist kostengünstiger und effizienter als bisher genutzte Katalysatoren. Die Forschenden haben auch seine Zuverlässigkeit im Praxistest erprobt und gezeigt, wie es sich in grossen Mengen herstellen lässt. Das neue Material kann in Elektrolyseuren der nächsten Generation eingesetzt werden, welche später auch auf der Versuchsplattform ESI am PSI zum Einsatz kommen können, an der verschiedene Ansätze zur Speicherung und Umwandlung von Energie getestet werden.

Weitere Informationen: <http://psi.ch/i9No>

Originalveröffentlichung:

E. Fabbri et al., Nature Materials 2017,
DOI: 10.1038/nmat4938

«Kann man am PSI auch arbeiten, ohne studiert zu haben?»»

Diese Frage stellen unsere Besucherinnen und Besucher öfter. Ja, lautet die Antwort, und in 15 der Berufe, in denen man am PSI ohne Studium arbeiten kann, können sich junge Menschen hier sogar ausbilden lassen. Fünf dieser Berufe stellen wir hier vor – am Beispiel von Menschen, die schon länger am PSI arbeiten, und solchen, die gerade erst loslegen mit ihrer Karriere.

Text: Dagmar Baroke





Elektroniker

Alfred Albisser leitet die Elektroniker-Berufsbildung am PSI. Für das Foto-Shooting hat er einen Elektronik-Roboter mitgebracht, der von seinen Lernenden für eine Messfehlersuchaufgabe an den Schweizer Berufsmeisterschaften konstruiert wurde. Im Jahr 2013 gewann ein PSI-Lernender sogar den Weltmeistertitel im Beruf Elektroniker. Neulich hat Albisser mit seinen Lernenden 30 Optokoppler hergestellt. Diese wandeln elektronische Signale in Lichtsignale um. Am PSI übertragen sie zum Beispiel Signale an der Ultrakalten Neutronenquelle UCN. An der UCN wollen die PSI-Forschenden klären, ob das Neutron ein elektrisches Dipolmoment hat – eine Frage, die wichtig ist, wenn man verstehen will, warum es im Weltraum mehr Materie als Antimaterie gibt.



Konstrukteurin

Katharina Liefert ist im vierten Lehrjahr. Derzeit überträgt sie 20 Jahre alte Handzeichnungen ins CAD. Aktuell beschäftigt sie sich mit einem 3,5 Meter hohen und 1,5 Meter breiten Gestell, das an der Spallations-Neutronenquelle SINQ eingesetzt wird. Liefert erzeugt zunächst von jedem Einzelteil aus der Zeichnung im Computer ein exaktes dreidimensionales Abbild. Dann macht sie sich daran, die Konstruktion des Gestells am PC zu optimieren, damit es handlicher wird und die Forscher es besser als bisher nutzen können.

Automatiker

Roland Erne arbeitet schon seit vielen Jahren am PSI. Und weil er davon überzeugt ist, dass der Beruf Automatiker Zukunft hat, bildet er auch junge Leute darin aus. In der von ihm geleiteten Fachgruppe werden beispielsweise sogenannte Speisegeräte gebaut, die verschiedenste Arten von Magneten mit Strom versorgen. Die Magnete bewirken, dass an den Grossforschungsanlagen des PSI ein hochpräziser Strahl aus Protonen oder Elektronen erzeugt wird. Protonen werden am PSI unter anderem zur Behandlung von Krebserkrankungen eingesetzt, und Elektronen erzeugen intensives Röntgenlicht, mit dem zum Beispiel neuartige Materialien für Computer oder Katalysatoren untersucht werden.



Physiklaborantin

Delia Schüpbach ist im zweiten Lehrjahr. Zurzeit arbeitet sie in der Forschungsgruppe für Brennstoffzellensysteme und optimiert ein Computerprogramm für die Verkabelung eines Brennstoffzellen-Teststands. Mit den am PSI entwickelten Brennstoffzellen sollen später Fahrzeuge fahren, die überhaupt kein CO₂ erzeugen. In der Hand hält Schüpbach übrigens ein Oszilloskop. Das braucht sie, um den zeitlichen Verlauf von elektrischen Spannungen zu messen.



Polymechniker

Patrick Bucher leitet die Zentralwerkstatt am PSI. Nach Zeichnungen, die seine Mitarbeitenden von den Konstrukteuren erhalten, erstellen sie auf CNC-Maschinen unterschiedliche Bauteile. Dabei handelt es sich oft um Spezialkomponenten, die nur hier am PSI benötigt werden. Dazu gehören auch die Puls-Kompressoren für die neue PSI-Grossforschungsanlage SwissFEL. Sie machen die enormen Kräfte möglich, mit denen Elektronen beschleunigt werden, um hochintensives Röntgenlicht zu erzeugen. Damit das gelingt, dürfen die Abmessungen der fertigen Puls-Kompressoren nur wenige hundertstel Millimeter von den Vorgaben im Konstruktionsplan abweichen. Da jeder Kompressor 100 000 Franken kostet, haben die Polymechniker hier eine ganz schön verantwortungsvolle Aufgabe zu erledigen.

Die Ausbildungsprofile aller hier vorgestellten und weiterer PSI-Lehrberufe finden Sie auf: <http://psi.ch/3E2L>

Physiker mit Verkaufstalent

Vor 15 Jahren forschte Thilo Herrmannsdörfer am PSI mit Neutronen. Dann wechselte er zur Swiss Re und entdeckte in dem internationalen Konzern sein Verkaufstalent.

Text: Joel Bedetti

An einem sonnigen Tag Mitte Mai melden sich einige Herren und eine Dame im Business-Casual-Look am Eingang des PSI Ost. Es ist das Marktteam Schweiz & Benelux der Swiss Re, dem zweitgrössten Rückversicherer der Welt, das dort einen Teamanlass durchführt. Andere Male ging es nach Paris zur dortigen Niederlassung, oder auch zum gemeinsamen Glockengiessen ins Emmental. Der Grund, weshalb diesmal Villigen auf dem Programm steht, ist ein grossgewachsener Mann mit kurzen Haaren, kernigem Ausdruck und bayrischem Akzent. Thilo Herrmannsdörfer, 49 Jahre alt, Marktleiter Benelux bei Swiss Re, kehrt zum ersten Mal seit 15 Jahren an den Ort zurück, an dem er seine Dissertation schrieb.

Am Eingang wartet bereits der Besucherführer: Lukas Keller, grosskariertes Hemd und baumelndes Dosimeter, ist Physiker an der Neutronenquelle SINQ des PSI. Die beiden plaudern über alte Zeiten; auch Herrmannsdörfer führte dort Experimente durch. «Mach's nicht zu kompliziert», sagt er lachend zu Keller. Nicht nur weil in seinem internationalen Team keine Physiker vertreten sind. Auch Thilo Herrmannsdörfer ist das Rückversicherungsgeschäft inzwischen besser vertraut als die Festkörperphysik.

Zum PSI kam Thilo Herrmannsdörfer aus zwei Gründen: Nach seinem Physikstudium in Würzburg wollte er seine Forschung an einer Institution mit internationalem Ruf fortsetzen. Zudem wollte er in der Nähe seiner damaligen Freundin und heutigen Frau sein, die aus Basel stammt. Das PSI passte perfekt. Für seine Doktorarbeit erforschte Herrmannsdörfer mithilfe von Neutronen magnetische Strukturen von Materialien. An manchen Abenden und Wochenenden fertigte er im Nebenverdienst mit seinem Büro- und Doktorandenkollegen Daniel

Rubio Neutronenspiegel für ein PSI-Spinoff namens SwissNeutronics. «Das war eine schöne Abwechslung», erzählt er.

Schon damals war Herrmannsdörfer klar, dass er nicht sein Leben lang in der Grundlagenforschung verbringen würde. Zwar wusste er, dass seine Dissertation mit dazu beitragen konnte, beispielsweise die Leistung künftiger Festplatten zu verbessern. «Aber ich wollte den direkten Impact meiner Arbeit sehen.» Mehrere Bekannte erzählten ihm von der Swiss Re, wo man gerne Physiker, gerade auch vom PSI, einstellt. Ein Rückversicherungskonzern deckt andere Versicherungen, die beispielsweise bei Naturkatastrophen oder Terrorangriffen an den Forderungen bankrott gehen könnten. Dafür brauchte es sogenannte Underwriter, welche die komplexen Risiken berechnen und analysieren können. «Mit ihrem konzeptionellen Denken sind Physiker für diese Aufgaben ausgezeichnet ausgebildet», sagt Herrmannsdörfer.

Meetings in der Karibik

Nach Abschluss seiner Dissertation 2002 bewarb er sich bei der Swiss Re, wenige Monate nachdem sein ehemaliger Bürokollege Daniel Rubio dort angefangen hatte. Er begann dort als Underwriter, merkte aber bald, dass er den Kundenkontakt genauso schätzte wie das mathematische Modellieren. Nach sechs Jahren wurde Herrmannsdörfer Kundenbetreuer für die Niederlande. Die Arbeit lag ihm so gut, dass er 2012 zum Leiter der Märkte Schweiz und Benelux aufstieg.

Zwei Wochen nach dem Besuch beim PSI sitzt Thilo Herrmannsdörfer, in Anzug und weissem Hemd in einem Besprechungsraum am prunkvollen





«Er konnte schon als Doktorand
gut auf Leute zugehen
und Kontakte knüpfen.»

Daniel Rubio, Kollege von Thilo Herrmannsdörfer



Hauptsitz der Swiss Re am Zürichsee. Um ihn sitzen seine Kundenberater, per Telefonkonferenz sind weitere Mitarbeiter aus den Filialen zugeschaltet. Sie diskutieren über die Agenden anstehender Kundenmeetings, tauschen Informationen über die Aktivitäten der Konkurrenz aus und definieren gemeinsam Marktstrategien.

Nach dem Meeting packt Herrmannsdörfer iPhone und Tablet ein und begibt sich ins benachbarte Gebäude, wo ein Treffen mit zwei Versicherungsbrokern aus den niederländischen Antillen ansteht. Am Vorabend ging Herrmannsdörfer bereits mit den beiden essen. Das Meeting, zu dem noch weitere Swiss-Re-Experten aus anderen Funktionen stossen, verläuft in vertrauter Atmosphäre; ohne Krawatte und formelle Agenda, jedoch auf neue Geschäftsmöglichkeiten fokussiert. Man tauscht sich über Regulatoren, Lizenzen, Konkurrenten und Jurisdiktionen auf dem karibischen Markt aus. In einigen Tagen wird Herrmannsdörfer für zehn Tage in die Region reisen, um potentielle Kunden zu treffen.

Sein heutiger Beruf, sagt er, bestehe fast nur noch aus Kommunikation: Mails, Anrufe, Sitzungen, Reisen. Als Verkäufer muss er nicht nur wirtschaftliche Aspekte, sondern auch Befindlichkeiten und kulturelle Eigenheiten beachten. Am Schreibtisch in seinem Büro liegt noch sein alter wissenschaftlicher Taschenrechner, während seine Kollegen elegante, simplere Modelle benutzen. Komplexe Berechnungen macht Herrmannsdörfer als Marktleiter nicht mehr. Dafür hat er seine Experten.

Keine gegensätzlichen Welten

Das Verkäufertalent, sagt sein PSI-Bürokollege Daniel Rubio, der heute im Risk Management der Swiss Re arbeitet, habe er schon als Doktorand bemerkt. «Thilo war immer selbstsicher und authentisch. Er konnte in Konferenzen gut auf Leute zugehen und Kontakte knüpfen.» Noch heute treffen sich die beiden manchmal in der Swiss-Re-Kantine zum Lunch oder spielen im Fitnessraum Tischtennis. Doch die Freizeit von Herrmannsdörfer ist knapp geworden. Die Mitgliedschaft in Orchestern hat der begeisterte Violinist vor Jahren aufgegeben. Dafür reitet er in der Freizeit mit seiner Frau und der zwölfjährigen Tochter die beiden Familienpferde.

Mitte Mai, PSI. Thilo Herrmannsdörfer steht vor der Neutronenquelle SINQ. «Hier arbeitete Thilo», erklärt Lukas Keller, der Besucherführer, den Swiss-Re-Mitarbeitern. Einer von Herrmannsdör-

«Ich möchte die Zeit am PSI nicht missen.»

Thilo Herrmannsdörfer,
Physiker und Marktleiter Benelux bei Swiss Re

fers heutigen Mitarbeitenden, Jasper van de Beek, grinst. «Und sie steht trotzdem noch.»

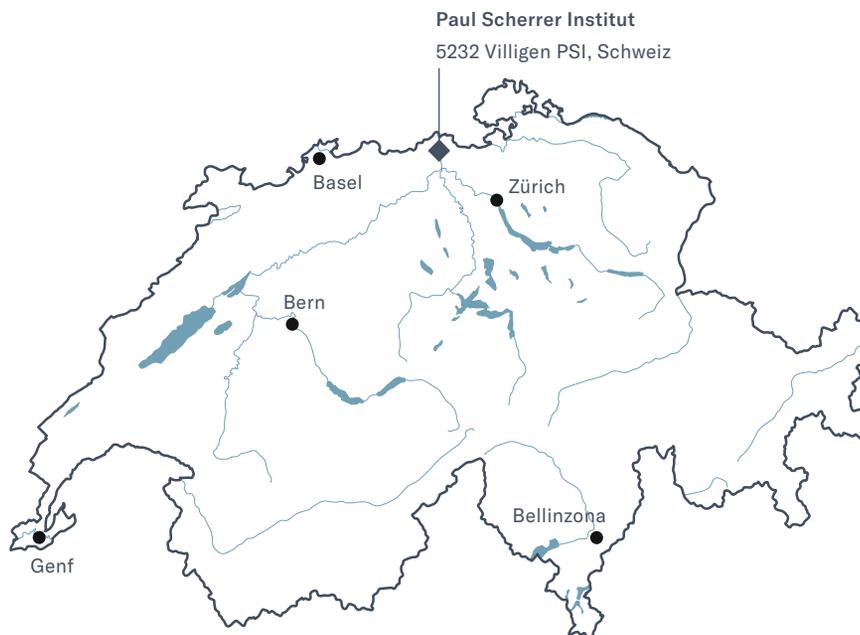
«Einmal habe ich versehentlich zwei Heliumfässer ausgeleert», erinnert sich sein Chef und lacht. In der grossen Halle spaziert Herrmannsdörfer gedankenverloren an den Heliumtanks und den massiven Apparaturen mit dutzenden Schläuchen und Kabeln vorbei; der Unterschied zum Swiss-Re-Hauptquartier könnte kaum grösser sein. Hier sass Herrmannsdörfer als Doktorand Tage und Nächte vor Messstationen. «Es war eine schöne Zeit», sagt er. «Ich möchte sie nicht missen.»

Die Fähigkeiten, ein Problem systematisch anzugehen, meint Herrmannsdörfer, komme ihm auch heute noch zugute. Die Swiss Re und das PSI sind für ihn keine gegensätzlichen Welten – er sieht im Gegenteil Parallelen zwischen dem Forschungsinstitut und dem Weltkonzern: «An beiden Orten arbeite ich mit internationalen Teams, beide Orte sind Top-Notch.» Thilo Herrmannsdörfer lächelt. «Und sogar das Essen ist an beiden Orten ausgezeichnet.»

Aber natürlich, meint er, während die Gruppe zum Schluss des Rundgangs über die Aarebrücke ins PSI-Forum zum Apéro spaziert, gebe es einen grossen Unterschied. «Hier ist die Arbeit im Grundsatz ergebnisoffen. Bei der Swiss Re hingegen gibt es klare Firmenziele, an denen man gemessen wird.» Sein Mitarbeiter Jasper van de Beek nimmt das Handy aus dem Sakkko. «Ah», stöhnt er nach einem Blick darauf, «the meeting got cancelled.» Noch bevor sie beim Apéro angelangt sind, besprechen er und Herrmannsdörfer die nächsten Schritte in der Sache. ♦

Im Aargau zu Hause forschen wir für die Schweiz in weltweiter Zusammenarbeit.





4

schweizweit einzigartige
Grossforschungsanlagen

800

Fachartikel jährlich, die auf
Experimenten an den
Grossforschungsanlagen beruhen

5000

Besuche jährlich von Wissen-
schaftlern aus der ganzen Welt, die
an diesen Grossforschungs-
anlagen Experimente durchführen

5232 ist die Adresse für Forschung an Grossforschungsanlagen in der Schweiz. Denn das Paul Scherrer Institut PSI hat eine eigene Postleitzahl. Nicht unge-rechtfertigt, finden wir, bei einem Insti-tut, das sich über 352 643 Quadratmeter erstreckt, eine eigene Brücke über die Aare besitzt und mit 2000 Beschäftigten mehr Mitarbeitende hat, als so manches Dorf in der Umgebung Einwohner.

Das PSI liegt im Kanton Aargau auf beiden Seiten der Aare zwischen den Gemeinden Villigen und Würenlingen. Es ist ein Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften des Bundes und gehört zum Eidgenössischen Technischen Hochschul-Bereich (ETH-Bereich), dem auch die ETH Zürich und die ETH Lausanne angehören sowie die Forschungsinstitute Eawag, Empa und WSL. Wir betreiben Grundlagen- und angewandte Forschung und arbeiten so an nachhaltigen Lösungen für zentrale Fragen aus Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft.

Komplexe Grossforschungsanlagen

Von der Schweizerischen Eidgenossen-schaft haben wir den Auftrag erhalten, komplexe Grossforschungsanlagen zu entwickeln, zu bauen und zu betreiben. Unsere Anlagen sind in der Schweiz ein-zigartig, manche Geräte gibt es auch weltweit nur am PSI.

Zahlreiche Forschende, die auf den un-terchiedlichsten Fachgebieten arbeiten, können durch Experimente an solchen Grossforschungsanlagen wesentliche Erkenntnisse für ihre Arbeit gewinnen. Gleichzeitig sind Bau und Betrieb derar-tiger Anlagen mit einem so grossen Auf-wand verbunden, dass Forschergruppen an den Hochschulen und in der Industrie an der eigenen Einrichtung solche Mess-geräte nicht vorfinden werden. Deshalb stehen unsere Anlagen allen Forschenden offen.

Um Messzeit für Experimente zu er-halten, müssen sich die Forschenden aus dem In- und Ausland jedoch beim PSI bewerben. Mit Experten aus aller Welt besetzte Auswahlkomitees bewerten diese Anträge auf ihre wissenschaft-liche Qualität hin und empfehlen dem PSI, wer tatsächlich Messzeit bekom-men soll. Denn obwohl es rund 40 Mess-plätze gibt, an denen gleichzeitig Expe-riente durchgeführt werden können, reicht die Zeit nie für alle eingegangenen Bewerbungen. Rund ein Drittel bis die Hälfte der Anträge muss abgelehnt werden.

Etwa 1900 Experimente werden an den Grossforschungsanlagen des PSI jährlich durchgeführt. Die Messzeit ist am PSI für alle akademischen Forschenden kostenlos. Nutzer aus der Industrie können für ihre proprietäre Forschung in einem besonderen Verfahren Messzeit kaufen und die Anlagen des PSI für ihre

angewandte Forschung verwenden. Das PSI bietet dafür spezielle Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen an.

Insgesamt unterhält das PSI vier Grossforschungsanlagen, an denen man in Materialien, Biomoleküle oder technische Geräte blicken kann, um die Vorgänge in deren Innerem zu erkunden. Dort «leuchten» die Forschenden bei ihren Experimenten mit unterschiedlichen Strahlen in die Proben, die sie untersuchen wollen. Dafür stehen Strahlen von Teilchen – Neutronen bzw. Myonen – oder intensivem Röntgenlicht – Synchrotronlicht bzw. Röntgenlaserlicht – zur Verfügung. Mit den verschiedenen Strahlenarten lässt sich am PSI eine grosse Vielfalt an Materialeigenschaften erforschen. Der grosse Aufwand hinter den Anlagen ergibt sich vor allem daraus, dass man grosse Beschleuniger braucht, um die verschiedenen Strahlen zu erzeugen.

Drei eigene Schwerpunkte

Das PSI ist aber nicht nur Dienstleister für externe Forschende, sondern hat auch ein ehrgeiziges eigenes Forschungsprogramm. Die von PSI-Forschenden gewonnenen Erkenntnisse tragen dazu bei, dass wir die Welt um uns besser verstehen, und schaffen die Grundlagen für die Entwicklung neuartiger Geräte und medizinischer Behandlungsverfahren.

Gleichzeitig ist die eigene Forschung eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg des Nutzer-Programms an den Grossanlagen. Denn nur Forschende, die selbst an den aktuellen Entwicklungen der Wissenschaft beteiligt sind, können die externen Nutzer bei ihrer Arbeit unterstützen und die Anlagen so weiterentwickeln, dass diese auch in Zukunft den Bedürfnissen der aktuellen Forschung entsprechen.

Unsere eigene Forschung konzentriert sich auf drei Schwerpunkte. Im Schwerpunkt Materie und Material untersuchen wir den inneren Aufbau verschiedener Stoffe. Die Ergebnisse helfen, Vorgänge in der Natur besser zu verstehen und liefern die Grundlagen für neue Materialien in technischen und medizinischen Anwendungen.

Ziel der Arbeiten im Schwerpunkt Energie und Umwelt ist die Entwicklung neuer Technologien für eine nachhaltige

und sichere Energieversorgung sowie für eine saubere Umwelt.

Im Schwerpunkt Mensch und Gesundheit suchen Forschende nach den Ursachen von Krankheiten und nach möglichen Behandlungsmethoden. Im Rahmen der Grundlagenforschung klären sie allgemein Vorgänge in lebenden Organismen auf. Zudem betreiben wir in der Schweiz die einzige Anlage zur Behandlung von spezifischen Krebserkrankungen mit Protonen. Dieses besondere Verfahren macht es möglich, Tumore gezielt zu zerstören und dabei das umliegende Gewebe weitgehend unbeschädigt zu lassen.

Die Köpfe hinter den Maschinen

Die Arbeit an den Grossforschungsanlagen des PSI ist anspruchsvoll. Unsere Forscherinnen, Ingenieure und Berufsleute sind hoch spezialisierte Experten. Uns ist es wichtig, dieses Wissen zu erhalten. Daher sollen unsere Mitarbeitenden ihr Wissen an junge Menschen weitergeben, die es dann in verschiedenen beruflichen Positionen – nicht nur am PSI – einsetzen. Deshalb sind etwa ein Viertel unserer Mitarbeitenden Lernende, Doktorierende oder Postdoktorierende.

IMPRESSUM

5232 – Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

Erscheint dreimal jährlich.
Ausgabe 3/2017 (September 2017)
ISSN 2504-2262

Herausgeber
Paul Scherrer Institut
5232 Villigen PSI
Telefon +41 56 310 21 11
www.psi.ch

Redaktionsteam
Dagmar Baroke, Monika Blétry,
Martina Gröschl, Christian Heid,
Dr. Laura Hennemann,
Dr. Paul Piwnicki (Ltg.), Frank Reiser

Design und Art Direction
Studio HübnerBraun

Fotos
Paul Scherrer Institut, ausser:
S. 2 oben, 4, 5, 10, 21, 28 – 33, 35, 36,
41: Scanderbeg Sauer Photography;
S. 3, 9, 11 rechts: Naturhistoriska
riksmuseet, Stefan Bengtson;
S. 8: AVENTICUM-Römermuseum
Avenches / Jürg Zbinden; S. 11
links, 12: University of Bristol / Philip
Donoghue; S. 13 links: University of
Bristol / Martin Rücklin; S. 13 rechts,
14: Naturhistoriska riksmuseet /
Else Marie Friis; S. 15 links: Kantons-
archäologie Aargau / Béla Albert
Polyvás; S. 16 oben links: Bernisches
Historisches Museum, Bern;
S. 16 unten links: Schweizerisches
Nationalmuseum; S. 18, 19 oben:
AVENTICUM-Römermuseum
Avenches / Andreas Schneider;
S. 20 rechts: Museu Nacional d'Art
de Catalunya Barcelona /
Alex Masalles

Grafiken
Paul Scherrer Institut, ausser:
S. 6, 7: Benedikt Rugar; S. 12 oben,
39: Studio HübnerBraun.

Bildgebungsverfahren
Objekte ① bis ⑧: Gruppe Röntgen-
tomografie, Paul Scherrer Institut;
Umschlag und Objekte ⑨ bis ⑳:
Gruppe Neutronenradiografie und
Aktivierung, Paul Scherrer Institut.

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

Im Internet finden Sie 5232 unter:
www.psi.ch/media/5232Magazin

PAUL SCHERRER INSTITUT




Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

In der Schweiz soll künftig mehr Energie aus erneuerbaren Quellen wie Sonne, Wind oder Biomasse stammen. Das stellt unser Energiesystem vor einige Herausforderungen. So unterliegt die Energieversorgung aus Sonne und Wind zeitlichen Schwankungen. Am PSI suchen Forschende nach Lösungen, wie man unregelmässig erzeugten Strom effizient und kostengünstig zwischenspeichern kann. Ein Ansatz ist die Speicherung in Form von Wasserstoff, der in Elektrolyseuren erzeugt wird (siehe Seite 27 in der vorliegenden Ausgabe). Im Fall von wässriger Biomasse wie Gülle oder Algen ist die enthaltene Energie nicht unmittelbar nutzbar. Verfahren aus dem PSI können die Biomasse aber in Methan umwandeln, das sich in das Gasnetz einspeisen lässt. Wie sich PSI-Forschende und Vertreter der Wirtschaft die Energiezukunft vorstellen und an welchen weiteren Lösungen sie tüfteln, steht in der kommenden Ausgabe.



Paul Scherrer Institut
5232 Villigen PSI, Schweiz | www.psi.ch | +41 56 310 21 11
