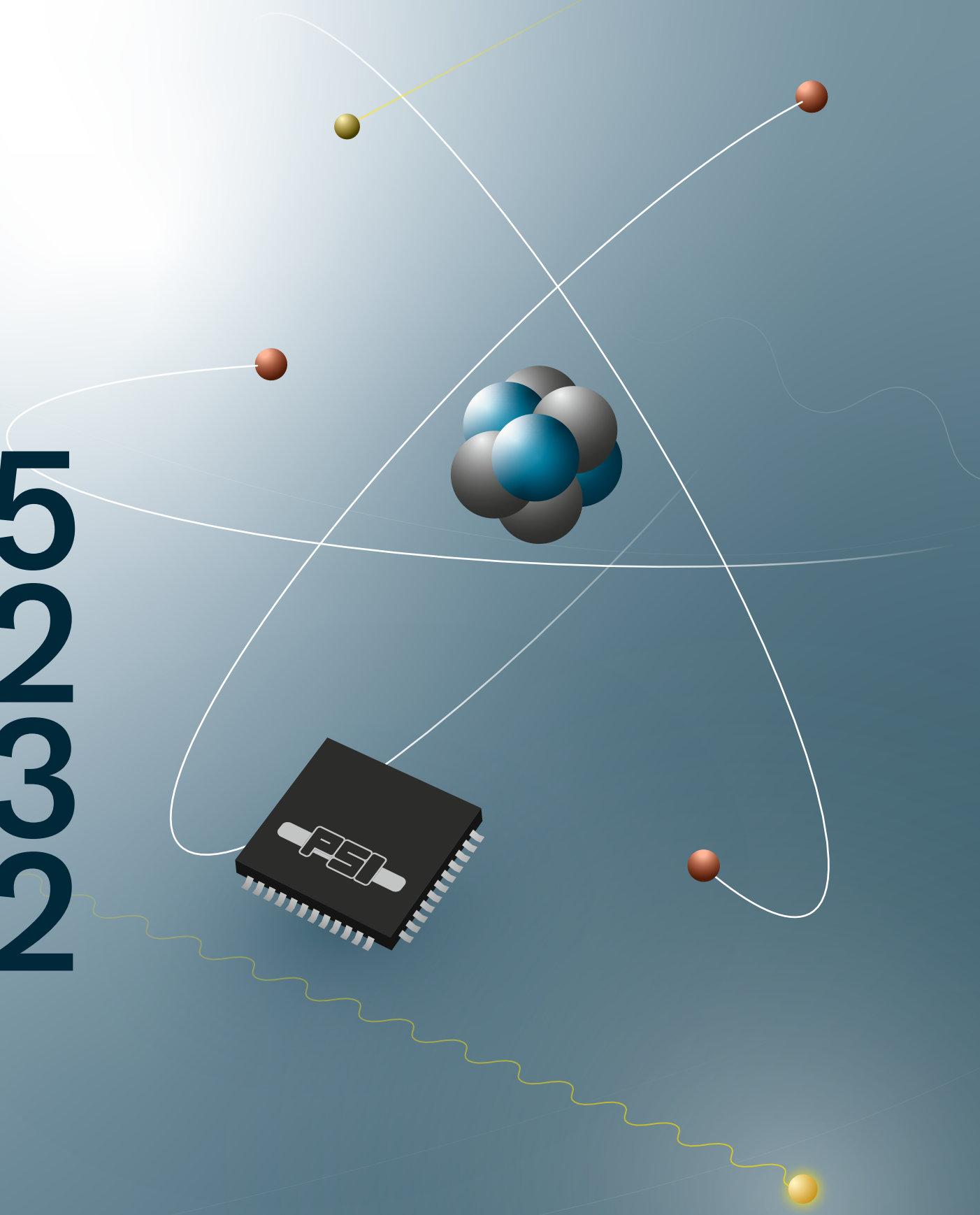
Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

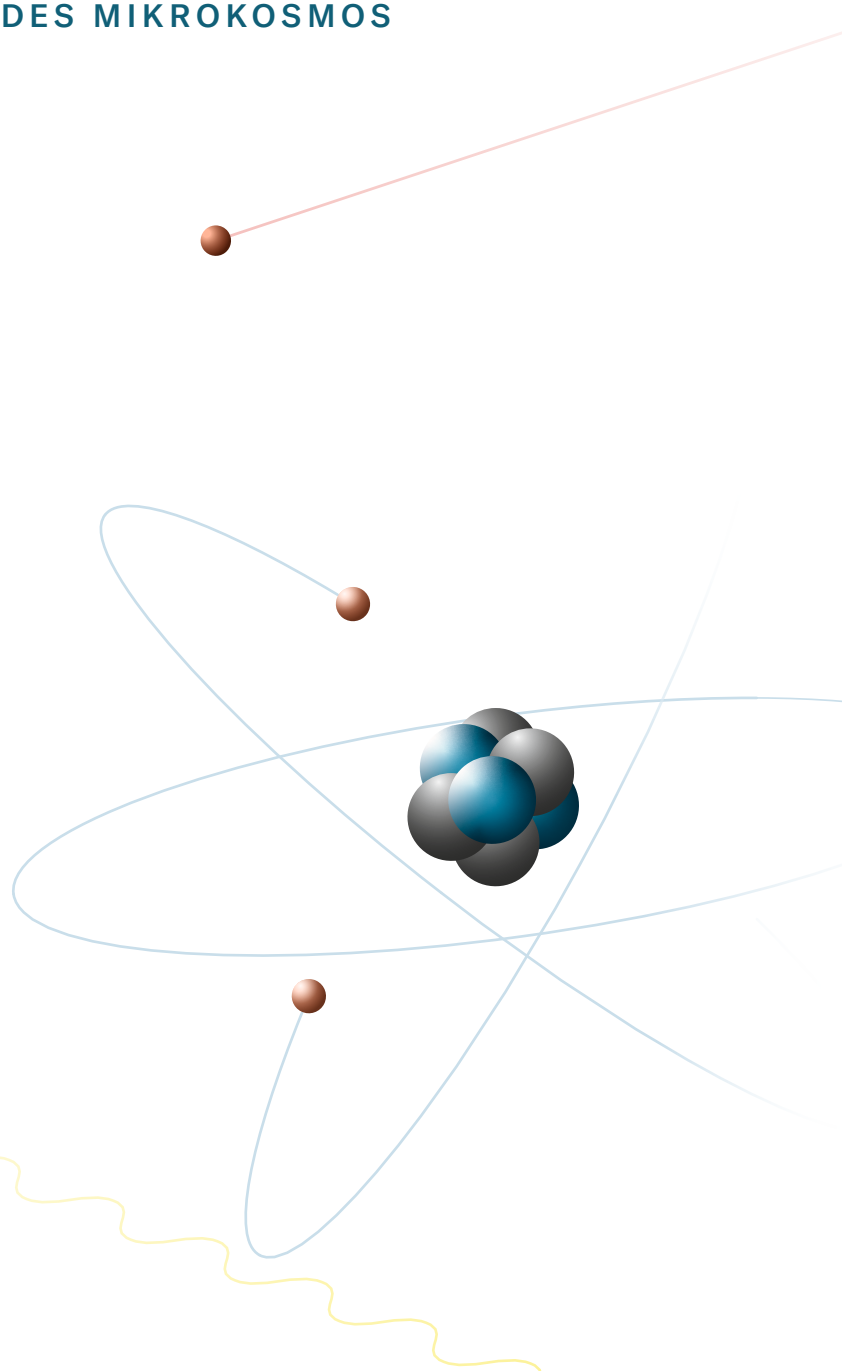
01 / 2023

5232



SCHWERPUNKTTHEMA

DIE VERMESSUNG DES MIKROKOSMOS



HINTERGRUND

Mehr Licht ins Dunkel

Forschende versuchen, Lücken in der Theorie des Standardmodells der Teilchenphysik zu finden. Für ihre verblüffenden Experimente nutzen sie die einzigartige Forschungsinfrastruktur des PSI.

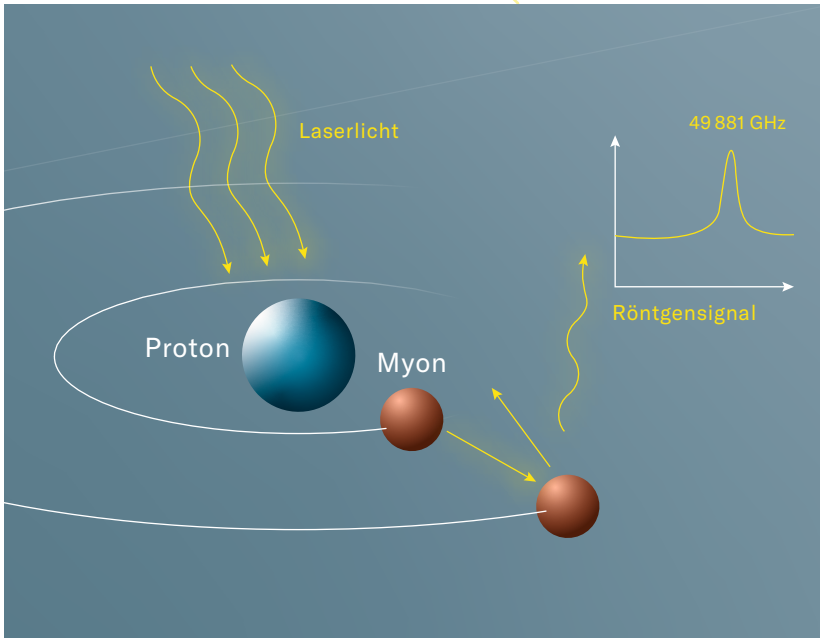
Seite 10

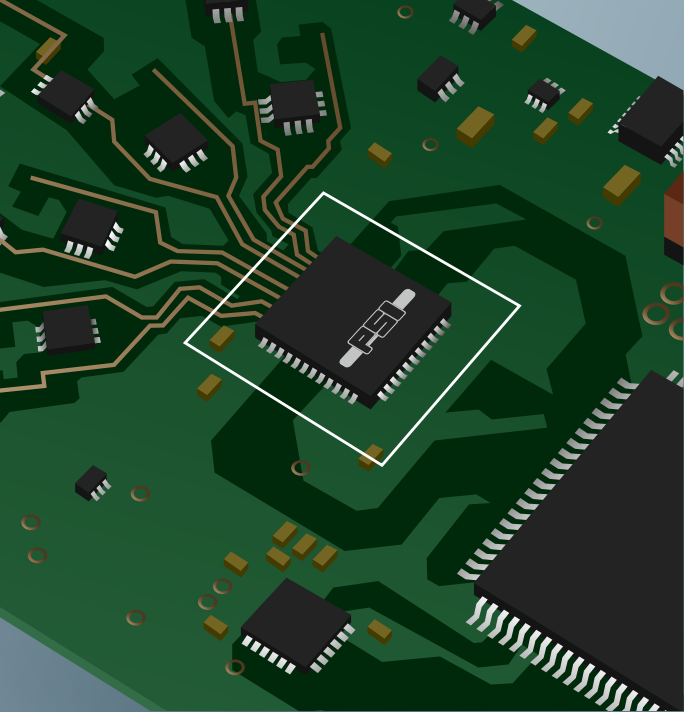
INFOGRAFIK

Das Standardmodell der Teilchenphysik

Elementarteilchen sind die kleinsten Bausteine der Natur. Das Standardmodell beschreibt ihre Eigenschaften und wie sie miteinander wechselwirken. Noch bleiben aber einige Rätsel um sie ungelöst.

Seite 16



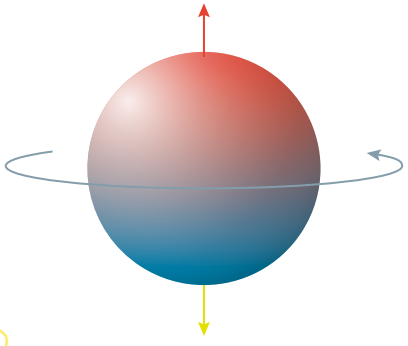


REPORTAGE

Was es nicht zu kaufen gibt, entwickeln wir selbst

Für viele Experimente an der Grenze des Wissens existieren noch keine technischen Lösungen. Deshalb entwickeln Forschende am PSI diese einfach selbst – und verbessern damit viele weitere Anwendungen in der Wissenschaft oder Industrie.

Seite 18



INHALT

EDITORIAL 4

ALLTAG
Wisch und weg 6

FORSCHUNG
Binden und stecken bleiben 7

SCHWERPUNKTTHEMA:
DIE VERMESSUNG DES MIKROKOSMOS 8

HINTERGRUND
Mehr Licht ins Dunkel 10

INFOGRAFIK
Das Standardmodell der Teilchenphysik 16

REPORTAGE
Was es nicht zu kaufen gibt, entwickeln wir selbst 18

IM BILD
Neutronen fokussieren 21

IN DER SCHWEIZ
Methan als Energiespeicher 22

Wie speichern wir Energie für Zeiten, in denen Windkraft- oder Photovoltaikanlagen keinen Strom liefern? Eine mögliche Antwort darauf geben Forschende des PSI und des Start-ups AlphaSYNT.

IN KÜRZE
Aktuelles aus der PSI-Forschung 26

1 Seltsames Fossil ist nicht unser Vorfahre
2 Tumore nierenschonend diagnostizieren
3 Nanomaterial aus dem Mittelalter
4 Ausgezeichnete PSI-Elektroniker

GALERIE
Andere Perspektiven 28

Analog zur Forschung an unseren Grossforschungsanlagen spielen wir in dieser Galerie mit dem Gegensatz zwischen Grossem und Kleinem.

ZUR PERSON
Herzhaft, aber mit Raffinesse 34

Die Lehre im PSI-Personalrestaurant Oase lieferte Michaela Frank die Basis für ihre Karriere als eine der jüngsten Spitzenköchinnen in der Schweiz.

WIR ÜBER UNS 38

IMPRESSUM 40

AUSBLICK 41

PSI-Direktor Christian Rüegg

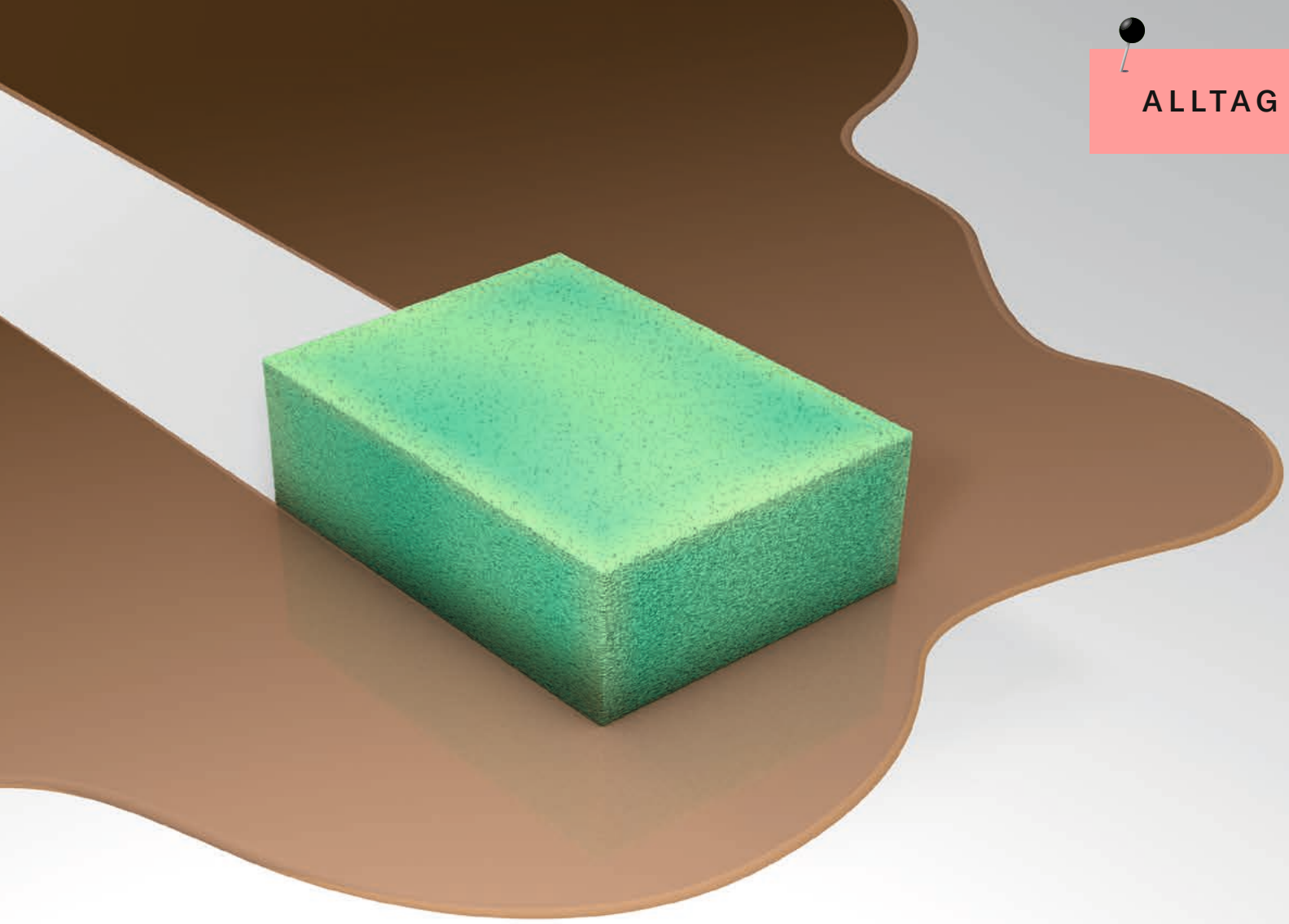
Fundamentales Wissen schaffen

Ich stehe hier an einer der entscheidenden Einrichtungen des PSI, dem grossen Zyklotron, das ein wichtiger Teil unserer Protonenbeschleunigeranlage ist. In ihr werden Protonen – kleine, positiv geladene Teilchen, die wichtige Bausteine der Atomkerne sind – auf etwa 80 Prozent der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Damit erzeugen wir den weltweit stärksten Protonenstrahl. Er dient wiederum zur Gewinnung anderer Teilchen, zum Beispiel von Neutronen oder Pionen und Myonen, mit denen wir dann aussergewöhnliche Untersuchungen und Experimente durchführen.

Für viele wirkt diese Welt der kleinsten Teilchen, aus denen unsere Welt zusammengesetzt ist, möglicherweise verwirrend. Sie eröffnen uns aber einmalige Einblicke und Erkenntnisse – vom atomar und sub-atomar Allerkleinsten bis zum Allergrössten, das wir überhaupt kennen, dem Universum. Das mag zunächst theoretisch klingen, ist aber entscheidend für weitere wissenschaftliche und technologische Entwicklungen. So können wir mithilfe von Neutronen oder Myonen tief in die Materie schauen. Mittels sogenannter ultrakalter Neutronen oder beispielsweise myonischen Wasserstoffs suchen wir nach neuem, fundamentalem Wissen über die Bausteine unserer Welt. Forschende des PSI haben in der Teilchenphysik grundlegende Erkenntnisse gewonnen und sowohl das schon erwähnte Proton als auch den Kern des Elements Helium so genau vermessen wie nie zuvor. Um manche Experimente überhaupt durchführen zu können, entwickeln wir am PSI ausserdem Technologien wie sehr leistungsfähige Elektronik und hochpräzise Detektoren, die weltweit nachgefragt werden.

Noch haben wir die letzten Geheimnisse der Natur nicht gelüftet und die Modelle, mit deren Hilfe wir sie entschlüsseln wollen, sind noch unvollständig. Mit jeder neuen Erkenntnis, die wir gewinnen, kommen wir der Lösung des Rätsels ein Stückchen näher und entdecken oft neue Überraschungen. Die Forschenden und ihre Neugier auf dieses unbekannte Terrain sind ein entscheidender Antrieb für die Überwindung aller Hindernisse auf dem Weg zu weiteren fundamentalen Erkenntnissen.

Neben diesem beinahe philosophischen Aspekt wirken sich die Ergebnisse der Grundlagenforschung auch immer wieder direkt in der Praxis aus. So haben die Erkenntnisse aus der Relativitätstheorie entscheidenden Einfluss auf die Funktionstüchtigkeit heutiger Navigationssysteme wie GPS. Was zu Anfang des vergangenen Jahrhunderts erdacht und erkannt wurde, hat heutzutage also Einzug in unseren Alltag gefunden. Und so arbeiten Forschende des PSI heute daran, weiteres fundamentales Wissen zu schaffen, um damit die Zukunft möglichst vieler Menschen positiv zu gestalten.



Wisch und weg

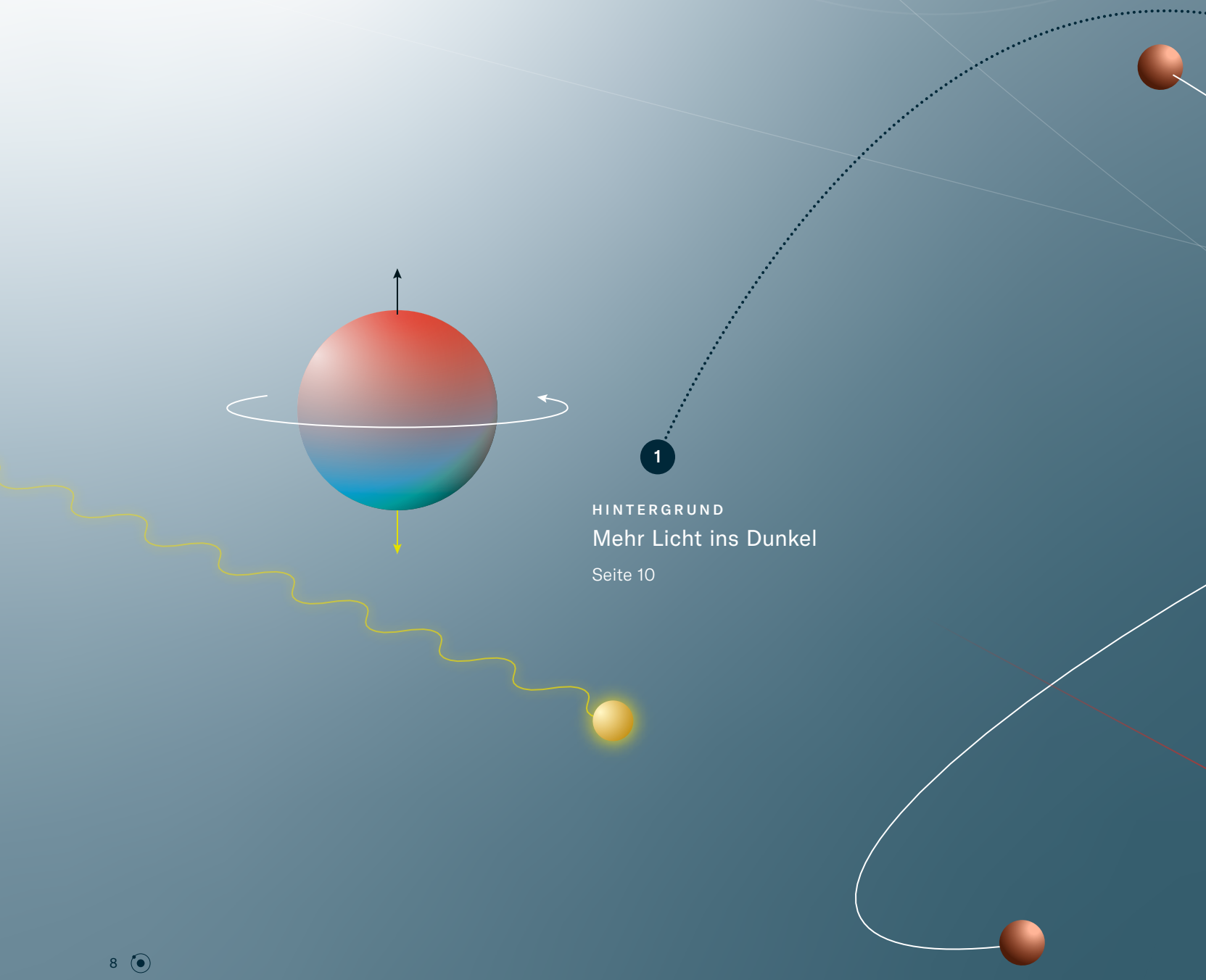
Wem wäre das nicht schon passiert? Die Tasse mit Kaffee oder das Glas mit Beerensaft kippt um und eine Pfütze breitet sich immer weiter aus. Gut, wenn das auf einer glatten Unterlage passiert und nicht auf einer Tischdecke. Dann lässt sich das Malheur leicht beheben, beispielsweise mit einem Schwamm. Der saugt Flüssigkeiten effektiv auf – dank des Kapillareffektes. Damit bezeichnet man das Phänomen, dass Flüssigkeiten in feine Hohlräume aufsteigen. Das geschieht aber nur, wenn die Anziehungskraft zwischen der Wand des Hohlraums und den Teilchen der Flüssigkeit grösser ist als zwischen den Teilchen der Flüssigkeit untereinander. Je feiner die Hohlräume sind, desto stärker ist die Kapillarkraft und desto höher kann beispielsweise Wasser steigen. Der Kapillareffekt tritt unter anderem auch bei Küchentüchern, Löschpapier oder bei Pflanzen auf. Letztere nutzen ihn, neben anderen Hilfsmitteln, um Wasser entgegen der Schwerkraft in die Höhe zu transportieren. Dem Kapillareffekt verdanken wir also, dass Blumen in einer mit Wasser gefüllten Vase nicht vertrocknen, Getreide auf den Feldern wachsen kann oder wir uns an imposanten Wäldern freuen können. Bäumen gelingt unter anderem mithilfe des Kapillareffektes, lebensnotwendiges Wasser bis weit über hundert Meter in die Höhe zu transportieren.

Binden und stecken bleiben

Forschende des PSI nutzen den Kapillareffekt, um einen Schnelltest auf das Virus Sars-CoV-2 und andere Erreger zu entwickeln. Der zentrale Baustein besteht aus einer kleinen rechteckigen Scheibe normalen Plexiglases. Darauf befinden sich kleine Kanäle. Entscheidend für den Test ist eine Passage, in der die Höhe des Kanals von 3,4 trichterförmig auf 0,8 Mikrometer sinkt. Für den Test entnimmt man der Testperson ein Tröpfchen Blut. In das Blut mischt man eine Flüssigkeit, in der spezielle künstliche Nanopartikel schwimmen. Deren Oberfläche hat die gleiche Struktur wie Proteine des Sars-CoV-2-Virus. An diese Antigene docken Antikörper des Menschen, um im Normalfall den Erreger zu bekämpfen. Ausserdem werden fluoreszierende Teilchen beigemischt, die sich an die Sars-CoV-2-Antikörper des Menschen anheften. Befinden sich Antikörper gegen Sars-CoV-2 im Test-Blut, lagern sich zunächst die fluoreszierenden Teilchen daran. Gemeinsam heften sie sich dann an die Virus-artigen Strukturen auf den Nanopartikeln. Der Kapillareffekt zieht dann eigenständig diese Testflüssigkeit durch den Kanal und die Nanopartikel mit fluoreszierendem Antikörper bleiben dort stecken, wo der Kanal zu eng wird. Man kann unterschiedlich grosse Nanoteilchen mit jeweils einem Antigen eines bestimmten Virus bestücken. Je nachdem, an welcher Stelle fluoreszierende Teilchen festzustellen sind, weiss man, mit welchem Virus die Testperson infiziert ist.

Die Vermessung des Mikrokosmos

Am PSI wollen Forschende die letzten Lücken im Standardmodell der Physik schliessen. Nicht ausgeschlossen, dass sie mit neuen Ergebnissen das Fundament des aktuell gültigen Modells erschüttern. Um dieses grundlegende Wissen zu gewinnen, nutzen sie die Grossforschungsanlagen des PSI – und oft genug ganz neue Technik. Wenn nötig, dann bauen sie diese, zum Beispiel spezielle Sensor-Chips, einfach selbst.

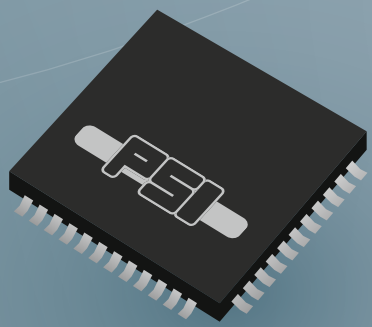


1

HINTERGRUND

Mehr Licht ins Dunkel

Seite 10



3

REPORTAGE

Was es nicht zu kaufen gibt, entwickeln wir selbst

Seite 18

2

INFOGRAFIK

Das Standardmodell der Teilchenphysik

Seite 16

Mehr Licht ins Dunkel

Das Standardmodell der Teilchenphysik beschreibt unser sichtbares Universum mit unglaublicher Präzision. Dennoch sind Forschende unzufrieden damit und versuchen, Lücken in der Theorie zu finden. Für ihre verblüffenden Experimente nutzen sie die einzigartigen Forschungsinfrastrukturen des PSI.

Text: Bernd Müller

Stellen Sie sich einen dunklen Raum vor, in der Mitte ein Podest, auf dem ein Kunstgegenstand aus purem Gold und prunkvollem Schmuckgestein steht, vielleicht die Totenmaske des Pharaos Tutanchamun. Nichts soll Ihren Blick von dieser perfekten Schönheit ablenken. Auch in der Physik gibt es so ein Kunstwerk: das Standardmodell der Teilchenphysik. Es beschreibt alle sichtbaren Teilchen des Universums sowie drei der vier Naturkräfte darin. Alle Experimente, die an und mit Elementarteilchen unternommen werden, bestätigen dieses Theoriegebäude immer wieder. Kein Grund also, einen Blick in die dunklen Ecken hinter dem Standardmodell zu werfen, oder?

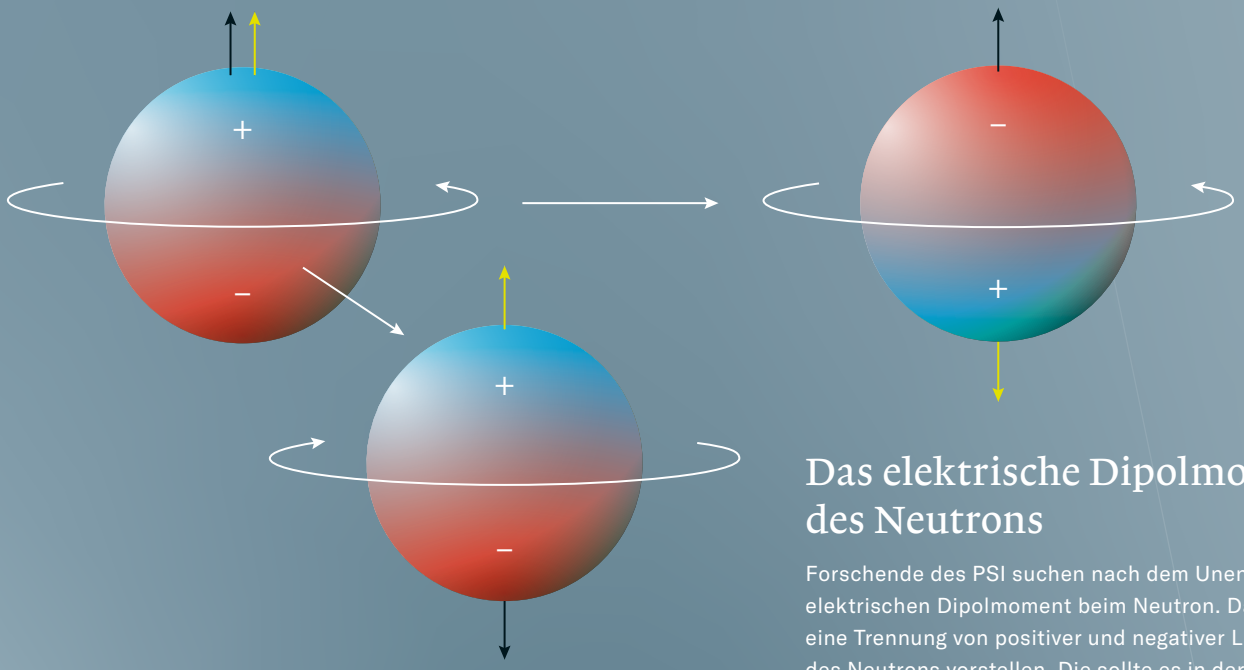
Klaus Kirch widerspricht. «Wir sind sehr glücklich mit dem Standardmodell», sagt der Leiter des Labors für Teilchenphysik am PSI und Professor an der ETH Zürich. «Der Weisheit letzter Schluss ist es aber nicht.» Das ist typisch für einen Physiker: Keine Theorie ist so perfekt, dass man sie nicht doch hinterfragen könnte. Und von der Perfektion ist das Standardmodell weit entfernt. Es lässt einige Fragen offen, etwa wie sich die Gravitation mit den drei anderen Naturkräften verträgt. Oder warum es nicht nichts gibt. Denn nach dem Urknall ist etwas mehr Materie als Antimaterie übrig geblieben, obwohl beide nach allen Theorien in exakt gleichen Teilen entstanden sein und sich gegenseitig vernichtet haben sollten. Stutzig macht alle, die sich intensiv mit Astrophysik beschäftigen, dass sich Sterne in Galaxien so bewegen, als würde eine grosse unsichtbare Masse an ihnen zerren. Für dieses Etwas, von dem niemand genau weiss, was es eigentlich ist, haben sie den Begriff Dunkle Materie gewählt. Diese wurde bisher nicht beobachtet, Forschende sind sich aber sicher, dass es sie gibt.

Klaus Kirch arbeitet am PSI an den Grundlagen der Physik, zum Beispiel der möglichst genauen Vermessung von Eigenschaften kleinster Bausteine der Materie.

Das alles sind Fragen, auf die das Standardmodell keine Antwort liefert. «Deshalb versuchen wir dort Licht ins Dunkel zu bringen, wo die Ungereimtheiten besonders gross sind», so Kirch. Zahlreiche Experimente dienen als «Taschenlampen», mit denen auch die Ecken ausgeleuchtet werden sollen. Das ist schwer, denn das Standardmodell überstrahlt alles. Man braucht also besonders scharfe Augen, um dort hinten etwas zu sehen.

Dafür gibt es grundsätzlich zwei Wege, die sich ergänzen: Am PSI beobachten Physikerinnen und Physiker Teilchen mit sehr geringen Energien und versuchen, extrem seltene Umwandlungsereignisse mit hoher Präzision zu finden. Diese Experimente sind kleiner als Alternativen und kosten meist nur einige Millionen Franken, die Teams bestehen aus überschaubaren fünfzig bis hundert Forschenden – jeder kennt hier jeden. In dieser Disziplin hat das PSI weltweit einen hervorragenden Ruf, manche Experimente sind in dieser Präzision sogar nur hier möglich.

Den zweiteren Weg beschritten Forschende am CERN. Sie schiessen Teilchen mit hohen Energien aufeinander und beobachten, ob aus der



Das elektrische Dipolmoment des Neutrons

Forschende des PSI suchen nach dem Unentdeckten: dem elektrischen Dipolmoment beim Neutron. Darunter kann man sich eine Trennung von positiver und negativer Ladung innerhalb des Neutrons vorstellen. Die sollte es in der gängigen Theorie eigentlich nicht geben, denn das Neutron ist nach aussen elektrisch neutral – und bisher wurde sie auch noch nicht nachgewiesen. Liesse sich ein auch nur winziges Dipolmoment messen, wäre das ein Hinweis auf eine neue Physik.

konzentrierten Energie neue schwere Teilchen entstehen. Solche Experimente sind die Spezialität des CERN und erfordern riesige Maschinen wie den siebenundzwanzig Kilometer langen Ringbeschleuniger LHC, an dem viele Tausend Forschende arbeiten.

Abschirmraum der Extraklasse

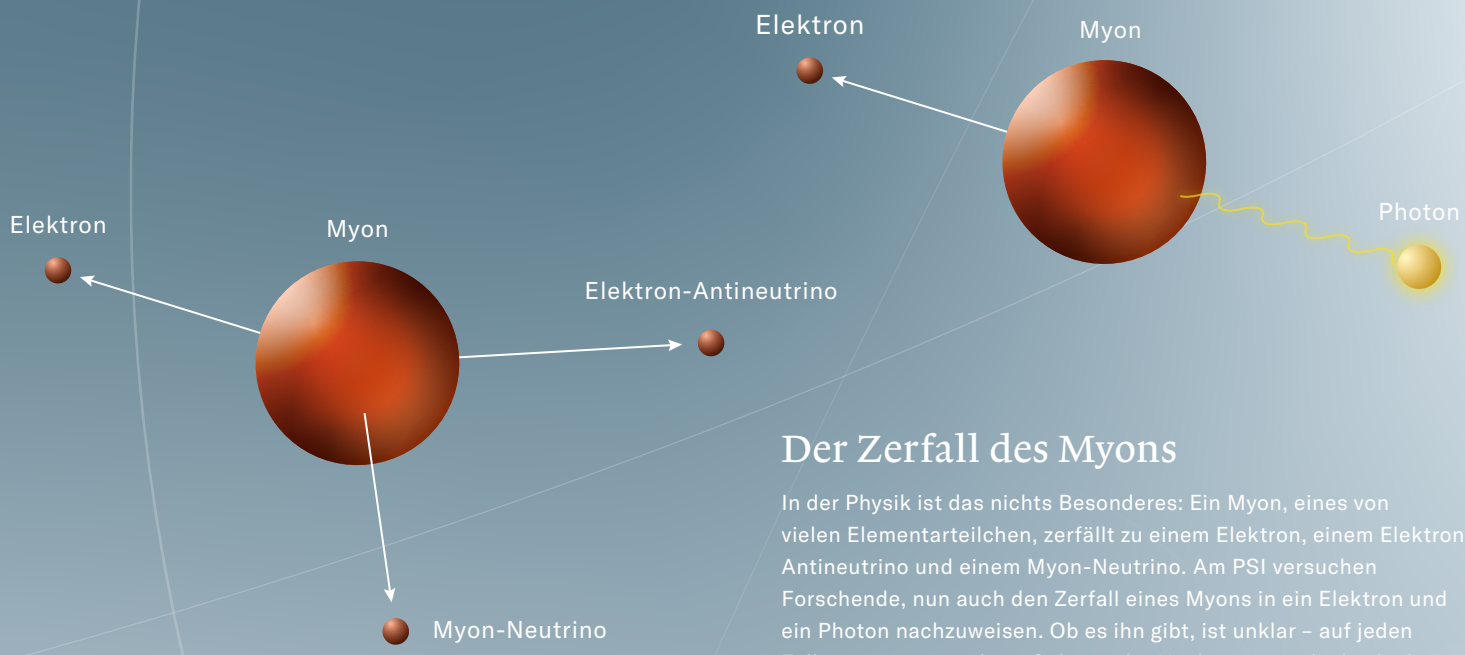
Die vorläufige Krönung der Experimente am PSI ist n2EDM. Die PSI-Forschenden lieben solche Kürzel, den Insidern sagen sie sofort, was jeweils untersucht wird. In diesem Fall ist es das elektrische Dipolmoment des Neutrons. Das Standardmodell sagt im Wesentlichen, dass das Neutron kein mit heutigen Mitteln messbares elektrisches Dipolmoment hat. Es gibt allerdings Theorien, die das doch erlauben. Sie vermuten, dass es im Inneren des ungeladenen Neutrons eine winzige Ladungstrennung geben könnte. Würde man im Experiment dieses Dipolmoment messen, könnte man mit diesen Theorien auch die Dominanz von Materie gegenüber Antimaterie zumindest zum Teil erklären.

Dafür müssen die Forschenden allerdings jedes Störmagnetfeld, vor allem das Magnetfeld der Erde, aussperren, denn das elektrische Dipolmoment des Neutrons ist – sofern es überhaupt existiert – extrem schwach. Dazu hat das Team von Klaus Kirch eine mehr als 25 Tonnen schwere Abschirmkammer mit Wänden aus mehreren Lagen einer Nickel-Eisen-Legierung gebaut. In dem fünf Meter hohen Koloss befindet sich eine zweite Kammer, die das Magnetfeld weiter reduziert. Im Inneren ist es hunderttausendmal schwächer als aussen. Damit ist dieser Raum die beste magnetische Abschirmkammer dieser Grösse weltweit.

In ihrem Inneren befindet sich das Experiment. Dort werden ultrakalte – das heisst langsame – Neutronen einem Magnetfeld ausgesetzt, welches das magnetische Dipolmoment des Neutrons in Rotation versetzt. Legt man zusätzlich ein elektrisches Feld an, müsste sich die Rotation verändern – aber eben nur, wenn das besagte elektrische Dipolmoment überhaupt existiert.

Das Vorgängerexperiment nEDM hat ein «mit Null verträgliches Resultat» erbracht. So formulieren es Forschende mit einem Augenzwinkern, wenn sie nichts gefunden haben. Das bedeute aber nicht, dass der Versuch ein Fehlschlag war, so Kirch.

> «Wir versuchen dort Licht ins Dunkel zu bringen, wo die Ungereimtheiten besonders gross sind.»
>
> Klaus Kirch, Leiter des Labors für Teilchenphysik



Der Zerfall des Myons

In der Physik ist das nichts Besonderes: Ein Myon, eines von vielen Elementarteilchen, zerfällt zu einem Elektron, einem Elektron-Antineutrino und einem Myon-Neutrino. Am PSI versuchen Forschende, nun auch den Zerfall eines Myons in ein Elektron und ein Photon nachzuweisen. Ob es ihn gibt, ist unklar – auf jeden Fall ist er extrem selten. Gelänge der Nachweis, würde das bisherige Fundament des Standardmodells der Teilchenphysik erschüttert (siehe auch Infografik Seite 16).

Jedes Experiment verschiebe die Grenzen des Wissens und erhelle den Raum um das Standardmodell ein wenig mehr. n2EDM ist zehnmal empfindlicher und wird in einer der hinteren Ecken eine zusätzliche Lampe anknipsen – egal wie das Experiment ausgeht.

Hinweis auf neue Physik

Eine alternative Route nimmt Philipp Schmidt-Wellenburg mit einem Experiment, das noch in keinem anderen Labor weltweit versucht wurde. Der Physiker sucht ebenfalls nach dem elektrischen Dipolmoment, allerdings bei Myonen. Er zwingt diese mit starken Magneten und elektrischen Feldern auf eine Kreisbahn. Ändert sich dabei die Ausrichtung der Myonen-Spins – eine quantenmechanische Eigenschaft des Teilchens, die man sich wie eine winzige Kompassnadel vorstellen kann – würde das bedeuten, dass das Myon zwingend ein elektrisches Dipolmoment haben müsste. Auch das wäre ein Hinweis auf neue Physik.

Klaus Kirch ist 54 Jahre alt und hat folglich noch mindestens ein Jahrzehnt Zeit, um Resultate zu finden, die nicht mit Null verträglich sind. Aber was, wenn das nicht gelingt, wenn alle diese Experimente partout keine neue Physik jenseits des Standardmodells offenbaren wollen, wenn die Ecken tatsächlich leer sind, egal wie hell man hineinleuchtet? Das sei erst mal positiv, denn es beweise, wie hervorragend das Standardmodell die Natur beschreibe. Dass es so kommen wird, glaubt Kirch aber nicht. «Wir werden etwas finden, es gibt zu viele Anhaltspunkte, dass das Standardmodell unvollständig ist.»

Das sieht auch Angela Papa so. Die Teilchenphysikerin forscht am PSI mit Myonen und ist auch Professorin in Pisa. Zweihundert Millionen dieser schweren Verwandten der Elektronen liefern Strahllinien am PSI pro Sekunde. Damit sind sie die intensivsten kontinuierlichen Myonenquellen weltweit. Seit 2019 gibt es nach Verbesserungen der Myonenproduktion an mehreren Strahllinien noch mal rund fünfzig Prozent mehr Myonen. An einer läuft seit 2021 das MEG2-Experiment, ein leistungsfähigerer Nachfolger des 2013 abgeschlossenen MEG-Experiments. Hier steht die Abkürzung für Myon-Elektron-Gamma und beschreibt ein Ereignis, bei dem ein Myon, anders als sonst üblich, in ein Elektron und ein Photon (Gamma), also ein Lichtteilchen hoher Energie, zerfällt. Das kommt extrem selten vor,

> «Falls es einen bestimmten, extrem seltenen Zerfall des Myons gäbe, wäre das ein Beweis für eine Physik jenseits des Standardmodells.»
>
> Angela Papa, Teilchenphysikerin

wenn überhaupt: Bisher konnte noch niemand diesen Zerfall beobachten. Falls es ihn gäbe, wäre das ein Beweis für eine Physik jenseits des Standardmodells. Und falls nicht? «Auch das wäre interessant, denn damit könnten wir bestimmte Theorien ausschliessen und uns bei künftigen Experimenten auf wenige Modelle beschränken», sagt Papa.

Falls der MEG-Zerfall nicht gefunden wird, würde dies das Standardmodell der Teilchenphysik stärken. Es hält den exotischen Zerfall für so unwahrscheinlich, dass er niemals beobachtet werden könnte. Nur eines von 10^{54} Myonen (eine Zahl mit 54 Nullen) dürfte demnach diesen Zerfallspfad einschlagen. Derzeit kann man das Ereignis aber nur aufspüren, wenn mindestens eines von 10^{14} Myonen so zerfällt. Diese riesige Kluft werden auch die besten Experimente niemals überbrücken können, doch die Forschenden haben die Hoffnung, dass sich das Ereignis schon früher zeigt. Einige Varianten der Supersymmetrie, einer Hypothese, bei der es zu jedem Teilchen im Standardmodell einen schweren Superpartner geben soll, erlauben den seltenen Myonen-Zerfall innerhalb der Messgrenzen, die die Experimente am PSI in den kommenden Jahren erreichen werden.

Teilchenphysikerin Angela Papa forscht unter anderem am MEG2-Experiment des PSI und sucht dabei nach einem extrem seltenen Zerfall eines Myons (siehe auch Grafik links).

Ein grosser Coup

Würden die PSI-Forschenden einen Hinweis auf supersymmetrische Theorien finden, wäre das ein grosser Coup. Während für Supersymmetrie das Standardmodell erweitert werden könnte, gibt es auch Experimente, die die Theorie in den Grundfesten erschüttern würden. Bestimmt kennen Sie die Binsenweisheit: Immer fällt alles «nach unten», «nach oben» fällt nie etwas. Wenn Ihnen der Kaffeebecher aus der Hand rutscht, zerschellt er auf dem Fussboden, aber niemals an der Decke. Aber ist das wirklich immer so? Gibt es nicht vielleicht doch eine Form von Materie, die in einem Gravitationsfeld abgestossen wird und nach oben fällt? Die PSI-Forschenden planen dazu ein Experiment mit Myonium, einem exotischen Atom aus einem positiv geladenen Anti-Myon und einem Elektron. Damit ist es dem Wasserstoff ähnlich, allerdings wird das Proton durch Antimaterie in Form eines punktförmigen Leptons, einer weiteren Art von Elementarteilchen, ersetzt. Da Myonium im Gegensatz zum normalen Wasserstoff aus zwei punktförmigen Leptonen besteht, lässt es sich mit der Quantenelektrodynamik (QED) genau berechnen, die quantentheoretisch den Elektromagnetismus beschreibt. In weiteren Experimenten kann man die Energieniveaus dieses Atoms vermessen und überprüfen, ob QED-Theorie und Experiment gleiche Ergebnisse bringen, was wiederum für die Vorhersage weiterer Experimente von Vorteil wäre.

Bei den Experimenten muss allerdings extrem schnell gemessen werden, denn das Anti-Myon zerfällt in zwei Millionstelsekunden. Sollte es im Schwerefeld der Erde wider Erwarten nicht mit Erdbeschleunigung nach unten fallen, wäre das mehr als eine Sensation – es würde die allgemeine Relativitätstheorie über den Haufen werfen. «Ich glaube nicht, dass es so kommt», sagt Klaus Kirch, «aber wir können es uns nicht leisten, in diese sehr dunkle Ecke nicht hineingeleuchtet zu haben.»

Das klappt aber nur, wenn die Taschenlampe hell genug ist. Das heisst für die Forschenden: Sie müssen immer leistungsfähigere Maschinen bauen mit höherer Intensität und gleichzeitig höherer Präzision. Bei Experimenten, die nach sehr seltenen Ereignissen suchen, ist die Statistik alles.

Es braucht unvorstellbar viele Teilchen, bis sich endlich einmal so ein Ereignis einstellt. Deshalb hat das PSI gemeinsam mit der Universität Zürich und dem Universitätsspital Zürich für die Schweizer Roadmap für Forschungsinfrastrukturen der Förderperiode 2025 bis 2028 das Projekt IMPACT eingereicht. Eine der beiden im Projekt vorgesehenen Targetstationen am Protonenbeschleuniger liefert Strahlen mit der Bezeichnung HIMB für High Intensity Muon Beam. Sie könnte 10 Milliarden Myonen pro Sekunde an Experimente liefern. Damit könnte das PSI seine weltweit führende Stellung in der Myonenphysik ausbauen, und zwar genau rechtzeitig, um

komplementäre Ergebnisse zum Vergleich mit den Ergebnissen der nächsten Phase des Protonenbeschleunigers LHC am CERN bei Genf vorzulegen.

Den entsprechenden Plan hat der ETH-Rat nun für die kommende Schweizer Roadmap für Forschungsinfrastrukturen vorgeschlagen. Die Roadmap wird im Frühjahr 2023 publiziert, aber bereits jetzt laufen viele Vorarbeiten auf Hochtouren. Eine Erweiterung zu HIMB wäre ein Gerät, das Myonen kühlt und die Strahlqualität millionenfach verbessert. Der vorhandene Myonenstrahl am PSI soll in einer Kammer mit sehr kaltem Heliumgas abgebremst werden.

Durch Dichteunterschiede im Gas und mit magnetischen und elektrischen Feldern werden die Myonen in wenigen Millionstelsekunden auf einen Punkt konzentriert und durch ein Loch in ein Vakuumrohr gebracht. Der Strahl ist dort nur Bruchteile eines Millimeters dünn und deswegen zehntausendmal intensiver als der Standardstrahl, der dick wie ein Arm ist. Dass es Gas in einem Behälter einsperren kann, der ein Loch hat, ist eine technische Meisterleistung des Teams. Aldo Antognini, Leiter des als muCool bekannten Projekts am PSI und Professor an der ETH Zürich, ist optimistisch: «In der Simulation funktioniert es, 2023 wollen wir es in Strahltests beweisen.»

So genau messen wie noch nie

Antognini war auch eine treibende Kraft hinter einem anderen Experiment, das in der Physikcommunity hohe Wellen geschlagen hat: die Vermessung des Radius des Protons. Mit dem Protonenbeschleuniger am PSI erzeugt sein Team Myonen, die myonischen Wasserstoff bilden, bei dem ein negativ geladenes Myon statt eines Elektrons das Proton umkreist. Das PSI ist weltweit die einzige Forschungsstätte, die genügend langsame Myonen für solche Experimente herstellen kann. Myonischer Wasserstoff ist nur ein Zweihundertstel so gross wie Wasserstoff, die Energieniveaus dieses Atoms werden daher stark von der Grösse des Protons beeinflusst. Regt man mit einem Laser genau die Resonanzfrequenz zwischen zwei Energieniveaus im myonischen Wasserstoff an, kann man daraus exakt auf den Protonenradius schliessen. Zunächst fanden die PSI-Forschende: nichts. Denn die 0,88 Femtometer (1 Femtometer = 1 millionstel Milliardstelmeter), die frühere Streuexperimente mit Elektronen für den Radius ergeben hatten, schienen offenbar nicht zu stimmen. Stattdessen pendelten sich die Messungen bei 0,84 Femtometer ein. Viele Forschende anderer Institute wollten

Physiker Aldo Antognini war unter anderem an der bislang genauesten Vermessung des Protonenradius beteiligt, die weltweit Aufsehen erregte (siehe auch Grafik rechts unten und Infografik Seite 17).

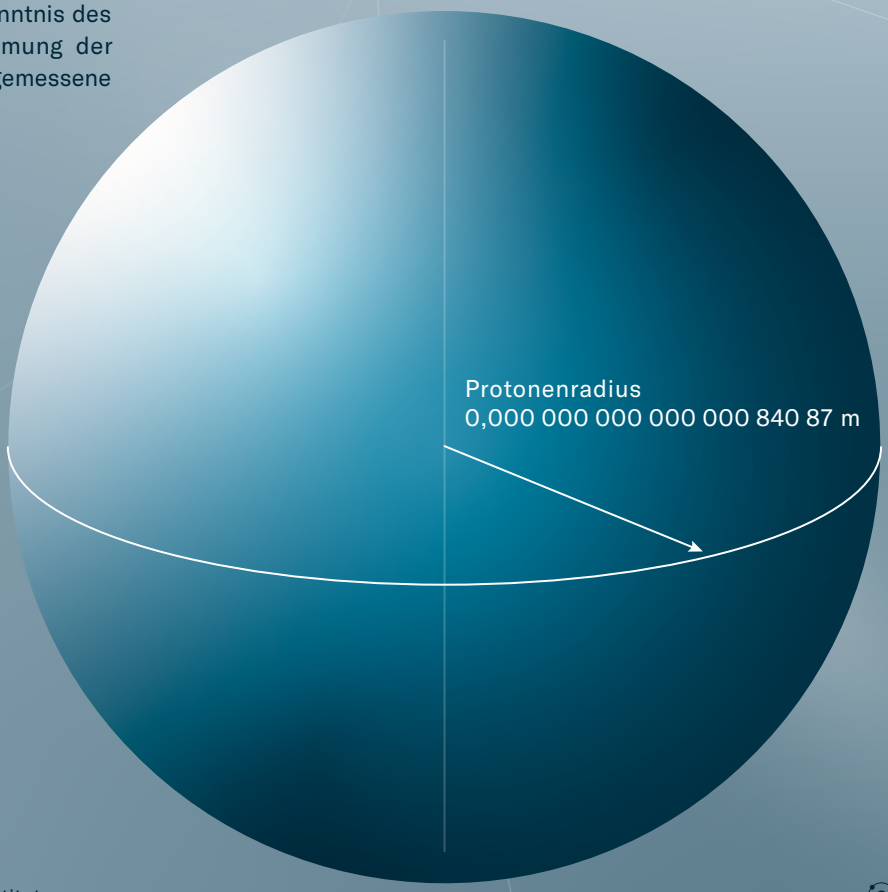
das nicht glauben und zogen das Ergebnis aus myonischem Wasserstoff in Zweifel. Heute, rund zehn Jahre später, haben sich die Wogen geglättet, der kleinere Protonenradius wurde mehrfach bestätigt. Inzwischen hat das Team den Radius von Deuterium gemessen und auch dort einen geringeren Radius gefunden. Mittlerweile abgeschlossen sind die Messungen von Helium-3 und Helium-4. Diskrepanzen zeigen sich dort keine, aber die mit Myonen erhaltenen Ergebnisse sind die genauesten überhaupt.

Bei dem ersten Experiment hat Antognini's Team den Radius der elektrischen Ladungsverteilung des Protons gemessen. Interessant ist aber auch der magnetische Radius des Protons. Um ihn zu bestimmten, braucht es einen besonderen Laser mit hoher Pulsenergie und spezieller Wellenlänge, der innerhalb einer Millionstelsekunde feuern muss, wenn ein myonisches Wasserstoff-Atom in der richtigen Position ist. So einen Laser gibt es nicht von der Stange zu kaufen, weshalb ihn das Team derzeit selbst entwickelt. 2024 sollen die Experimente beginnen. Auch hier ist nicht ausgeschlossen, dass ältere Ergebnisse über den Haufen geworfen werden.

Auch wenn die Fülle an Experimenten verwirrend sein mag, folgen sie doch einem Masterplan. «In der Teilchenphysik ist alles mit allem verzahnt», sagt Aldo Antognini, «das ganze Gebäude muss in sich konsistent sein.» Dafür sei es unabdingbar, die Naturkonstanten unter Kontrolle zu haben. Mit seinen Experimenten leistet er dazu einen wichtigen Beitrag. So ist die möglichst genaue Kenntnis des Protonenradius die Basis zur Bestimmung der Rydberg-Konstante, die am genauesten gemessene fundamentale Konstante in der Physik. Sie wiederum steckt in den SI-Einheiten, dem internationlen Einheitensystem, in dem unter anderem das Kilogramm, der Meter oder die Sekunde definiert sind.

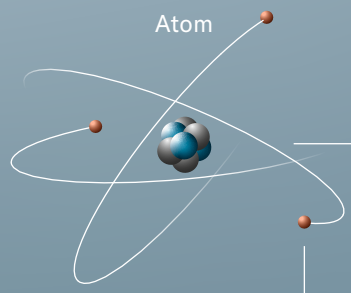
Aber sind diese Konstanten wirklich so konstant? Forschende schliessen nicht aus, dass sie sich über lange Zeiträume verändern. Das würde bedeuten, dass in dem dunklen Raum mit dem uns bekannten strahlenden Standardmodell der Teilchenphysik die Wände aus Gummi sind und sich unmerklich verformen. Oder noch radikaler: Vielleicht gibt es in diesem Museum noch weitere Räume – sprich: andere Universen –, in denen andere Naturkonstanten gelten – und ein anderes Standardmodell. «Wir können das nicht ausschliessen», sagt Klaus Kirch. «Deshalb arbeiten wir an Experimenten, die das herausfinden sollen.» ◆

> «In der Teilchenphysik ist alles mit allem verzahnt, das ganze Gebäude muss in sich konsistent sein.»
>
> Aldo Antognini, Leiter des muCool-Projekts am PSI



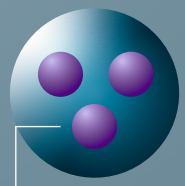
Das Standardmodell der Teilchenphysik

Elementarteilchen sind die kleinsten Bausteine der Natur. Diese teilen sich auf in zwei Gruppen: die Materieteilchen und die Kraftteilchen. Letztere vermitteln die Kräfte zwischen der Materie. Das bekannteste dieser Teilchen ist das Photon, das die elektromagnetische Kraft vermittelt. Das Gluon vermittelt die starke Wechselwirkung. Diese verhindert, dass manche Kerne zerfallen. Die schwache Wechselwirkung wird durch Z-Bosonen und W-Bosonen vermittelt. Sie ist dafür verantwortlich, dass manche Kerne zerfallen. Dadurch entsteht beispielsweise Radioaktivität. Für die vierte Kraft, die Gravitation, ist bislang kein Kraftteilchen bekannt. Das Higgs-Teilchen gehört zum Higgs-Mechanismus. Er besagt, dass alle Materieteilchen ihre Masse durch Wechselwirkung mit dem Higgs-Feld erhalten. Aus den Elementarteilchen setzen sich wiederum die Bausteine des Atomkerns zusammen, die Protonen und die Neutronen (siehe rechts oben). Jedes Elementarteilchen existiert in zwei Formen, als Teilchen oder als Antiteilchen. Unter anderem das macht das Verständnis des Standardmodells der Teilchenphysik so komplex. Letztendlich sind alle Vergleiche oder Bilder, die man für die Beschreibung des Standardmodells verwendet, Hilfskonstruktionen. Das Modell lässt sich nur in der Sprache der Mathematik vollständig beschreiben und verstehen.



Atom

Atomkern



Nukleonen (Protonen, Neutronen)

MATERIE (Fermionen)

Leptonen

ν_e Elektron-Neutrino
Masse: < 1.0 eV/c²
Ladung: 0 Spin: ½

e Elektron
Masse: ≃0.511 MeV/c²
Ladung: -1 Spin: ½

ν_μ Myon-Neutrino
Masse: < 0.17 MeV/c²
Ladung: 0 Spin: ½

μ Myon
Masse: ≃105.66 MeV/c²
Ladung: -1 Spin: ½

ν_τ Tauon-Neutrino
Masse: < 18.2 MeV/c²
Ladung: 0 Spin: ½

τ Tauon
Masse: ≃1.7768 GeV/c²
Ladung: -1 Spin: ½

Quarks

d Down
Masse: ≃4.7 MeV/c²
Ladung: -⅓ Spin: ½

u Up
Masse: ≃2.2 MeV/c²
Ladung: +⅔ Spin: ½

s Strange
Masse: ≃96 MeV/c²
Ladung: -⅓ Spin: ½

c Charm
Masse: ≃1.28 GeV/c²
Ladung: +⅔ Spin: ½

b Bottom
Masse: ≃4.18 GeV/c²
Ladung: -⅓ Spin: ½

t Top
Masse: ≃173.1 GeV/c²
Ladung: +⅔ Spin: ½

WECHSELWIRKUNGEN (Bosonen)

Vektorbosonen

z Z-Boson
Masse: < 91.19 GeV/c²
Ladung: 0 Spin: 1

w W-Boson
Masse: ≃80.39 GeV/c²
Ladung: ±1 Spin: 1

Schwache Wechselwirkung

γ Photon
Masse: 0
Ladung: 0 Spin: 1

Elektromagnetismus

g Gluon
Masse: 0
Ladung: 0 Spin: 1

Starke Wechselwirkung

Skalarbosonen

H Higgs
Masse: ≃124.97 GeV/c²
Ladung: 0 Spin: 0

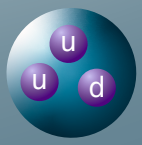
Higgs-Mechanismus

? Graviton

Gravitation

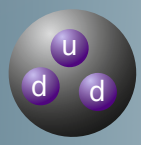
Antimaterie

Zu jedem Teilchen existiert ein Antiteilchen mit umgekehrter Ladung.



Proton

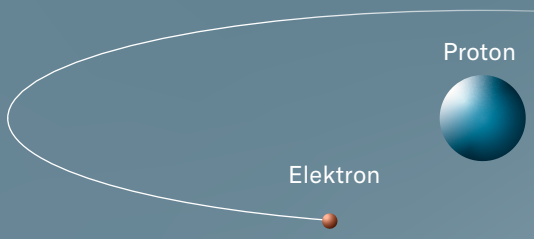
Ladung +1 — besteht aus zwei Up-Quarks (Ladung 2 × +⅔) und einem Down-Quark (Ladung -⅓) sowie aus einem «See» von Gluonen und Quark-Antiquark-Paaren. 99 % der Masse stammt aus der starken Wechselwirkung.



Neutron

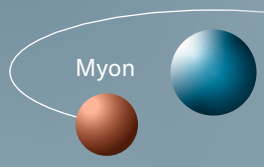
Ladung 0 — besteht aus einem Up-Quark (Ladung +⅔) und zwei Down-Quarks (Ladung 2 × -⅓) sowie aus einem «See» von Gluonen und Quark-Antiquark-Paaren. 99 % der Masse stammt aus der starken Wechselwirkung.

Wasserstoff



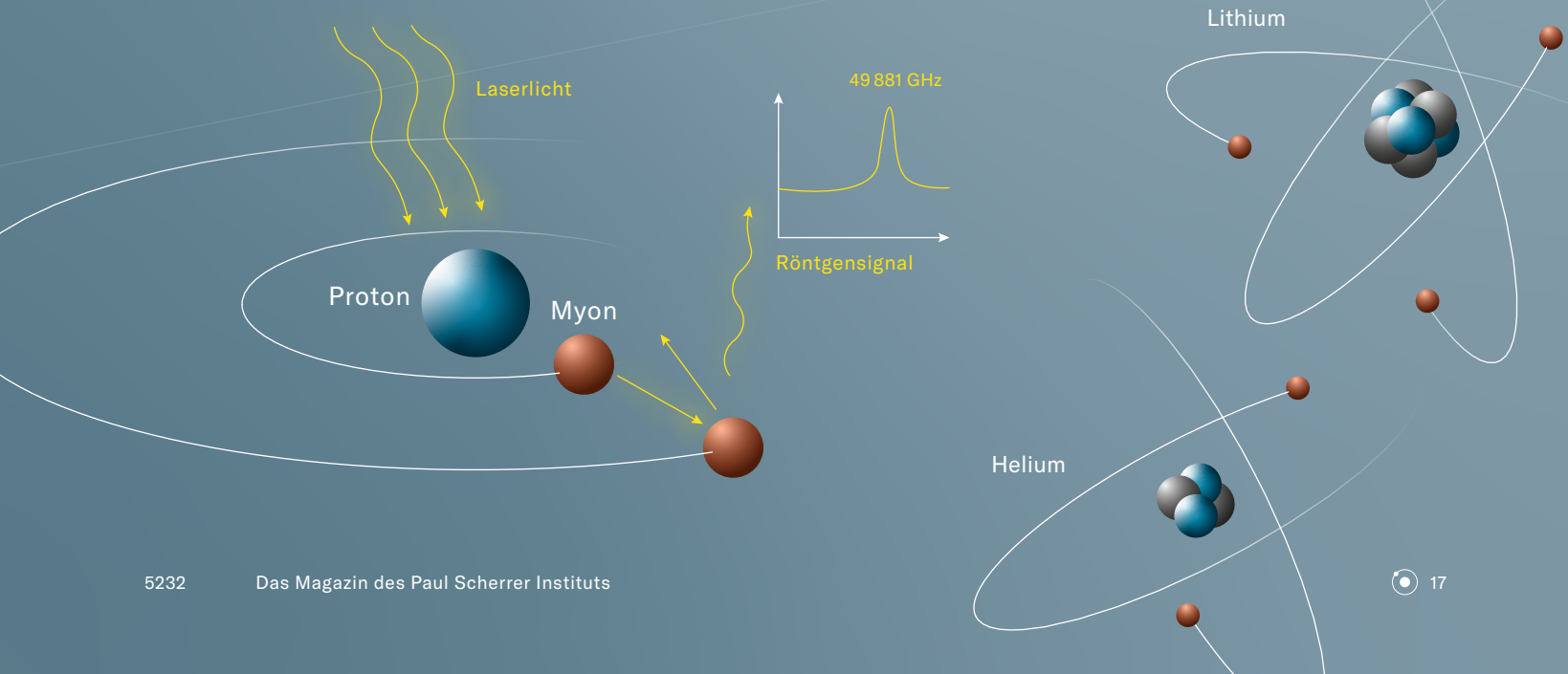
Myonischer Wasserstoff

Besteht aus einem Proton und einem Myon:
– Lebensdauer: circa 2 Mikrosekunden
– Durchmesser: 186stel von normalem Wasserstoff



So bestimmen PSI-Forschende den Radius des Protons

Myonischer Wasserstoff eignet sich perfekt, um den Radius des Protons zu bestimmen. Die Forschenden ersetzen das Elektron im Wasserstoff-Atom durch ein negativ geladenes Myon und schiessen einen Puls aus einem Infrarotlaser auf den myonischen Wasserstoff. Hat das Laserlicht die richtige Frequenz, hebt es das Myon auf einen höheren Energiezustand. Fällt es in den Grundzustand zurück, sendet es Röntgenlicht aus, das Detektoren registrieren. Im Experiment wird die Laserfrequenz so lange variiert, bis viele Röntgensignale eintreffen, das ist die Resonanzfrequenz. Sie beträgt hier 49 881 Gigahertz, daraus lässt sich die Differenz zwischen den zwei energetischen Zuständen des Myons im Atom berechnen. Laut Theorie hängt dieser Energieunterschied davon ab, wie gross das Proton ist. Das Prinzip haben die PSI-Forschenden auch genutzt, um den Radius des Heliumkerns zu bestimmen. Dazu ersetzen sie ein Elektron des Helium-Atoms durch ein Myon. Als Nächstes ist Lithium an der Reihe.



Was es nicht zu kaufen gibt, entwickeln wir selbst

Mit ihrer Arbeit verschieben die Forschenden am PSI die Grenzen des Wissens und der technologischen Entwicklung. Viele Komponenten für ihre Experimente kann man nicht einfach kaufen. Dann entwickeln sie diese einfach selbst – und verbessern damit viele weitere Anwendungen in der Wissenschaft oder Industrie.

Text: Bernd Müller

Teilchenphysik ist aufwendig. Grosse Forschungsinfrastrukturen wie zum Beispiel der Protonenbeschleuniger LHC am CERN mit seinen vier Detektoren kosten Milliarden. Falls sie gefragt werden, wozu das alles nütze, haben die Forschenden ein paar gute Antworten parat. Über allem stehe der Erkenntnisgewinn, das Verschieben der Grenzen des Wissens, sagen sie. An den grossen Laboren würden ausserdem Tausende Fachkräfte ausgebildet, die mit den neuesten Technologien umgehen und in interdisziplinären Teams arbeiten könnten – ein Segen für die Hightech-Wirtschaft nicht nur der Schweiz. Ein weiteres Argument lautet: Wir entwickeln neue Technologien, die künftig auch für industrielle Anwendungen interessant werden.

Physiker Stefan Ritt ist mit der Entwicklung des Mikrochips «Domino Ring Sampler» ein weltweit gefragtes Meisterstück gelungen.

Vor allem Letzteres ist das Steckenpferd von Stefan Ritt. Der Forschungsgruppenleiter am PSI ist Physiker und begeisterter Tüftler in Personalunion. Wenn ein Experiment am PSI eine besondere elektronische Schaltung benötigt, die es nirgends zu kaufen gibt, schwingt er kurzerhand den Lötkolben und baut sie selbst. So ist ihm vor zehn Jahren ein echter Meilenstein gelungen: DRS4. Beim «Domino Ring Sampler» handelt es sich um einen Mikrochip, der vereinfacht gesagt ein ultraschnelles Oszilloskop auf der Fläche eines Fingernagels vereint. Die Zeitauflösung beträgt weniger als zehn Billionstelsekunden. Damit können die Forschenden Teilchen finden, die aus Zerfallsprozessen von Myonen stammen. Die hohe zeitliche Auflösung und enorme Geschwindigkeit des Chips sind notwendig, weil in den Experimenten am PSI pro Sekunde dreissig Millionen solcher Zerfälle stattfinden, deren Signale sich überlappen. Das macht die Auswertung so knifflig.

Einer der treuesten «Kunden» ist Aldo Antognini mit seinen Experimenten zur Bestimmung des Protonenradius (siehe Seite 15). Aber nicht nur: Weltweit nutzen zahlreiche Forschungslabore den DRS4. Medizinforschende in Tübingen beispielsweise, um Hirntumore möglichst genau zu lokalisieren. 10 000 Stück des DRS4 wurden schon verkauft. Wegen der hohen Nachfrage werden die Chips heute in Taiwan gefertigt und von der RADEC GmbH vertrieben, einem Spin-off des PSI im schweizerischen Koblenz. Die Firma des ehemaligen PSI-Physikers Radoslaw Marcinkowski bietet Services für Weltraummissionen und ist damit der beste Beweis, dass das Know-how aus dem PSI weit über dessen Tore hinaus geschätzt und genutzt wird.

Physikerin Lea Caminada entwickelt eine neue Generation von Pixeldetektoren, die noch bessere Messungen ermöglichen sollen.

Weltweit im Einsatz

Eines ist Stefan Ritt aber wichtig: «Wir verfolgen keine kommerziellen Interessen, wir verkaufen die Chips und die dazu gehörenden Elektronikboards zum Selbstkostenpreis.» An erster Stelle stehe immer der Forschungsauftrag des PSI. Das gelte auch für die Elektronik und Software für neue, sehr schnelle Teilchendetektoren, die Ritts Team derzeit entwickelt. In Zukunft möchte Ritt ausserdem den DRS4-Chip so verbessern, dass man die Daten noch schneller auslesen kann.

Auch wenn das PSI seine Hard- und Software hauptsächlich für eigene Forschungszwecke entwickelt, heisst das nicht, dass diese Forschung auf dem Gelände in Villigen stattfinden muss. PSI-Forschende sind auch an Kollaborationen in anderen Forschungszentren mit von der Partie, allen voran am CERN bei Genf. Das stellt mit dem grossen Protonenbeschleuniger LHC die Infrastruktur bereit, die Detektoren CMS, ATLAS, LHCb und ALICE werden dagegen von internationalen Konsortien betrieben. Allein an CMS sind rund zweihundert Forschungsinstitute weltweit mit über 5800 Forschenden, Verwaltungsmitarbeitenden sowie Technikerinnen und Technikern beteiligt. Jeder Partner steuert einen Part zum Detektor und dessen Betrieb bei und darf dafür die Daten nutzen.

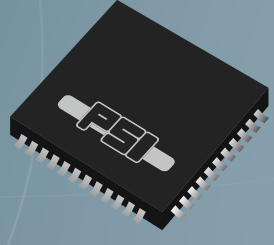
Eine immens wichtige Komponente von CMS, der gross wie ein Mehrfamilienhaus ist und 12500 Tonnen wiegt, ist der Silizium-Pixeldetektor. Er sitzt ganz innen und ist vergleichsweise klein, erfüllt aber eine wichtige Funktion. Er misst anhand der geladenen Teilchen, die bei den Protonen-Kollisionen entstehen, auf Mikrometer genau den Ort, wo die Kollision stattgefunden hat. Dieser Ort ist die Basis für die Messungen der weiteren Detektoren, die wie Zwiebelschichten weiter aussen folgen. Dieser Pixeldetektor wurde am PSI entwickelt und gebaut.

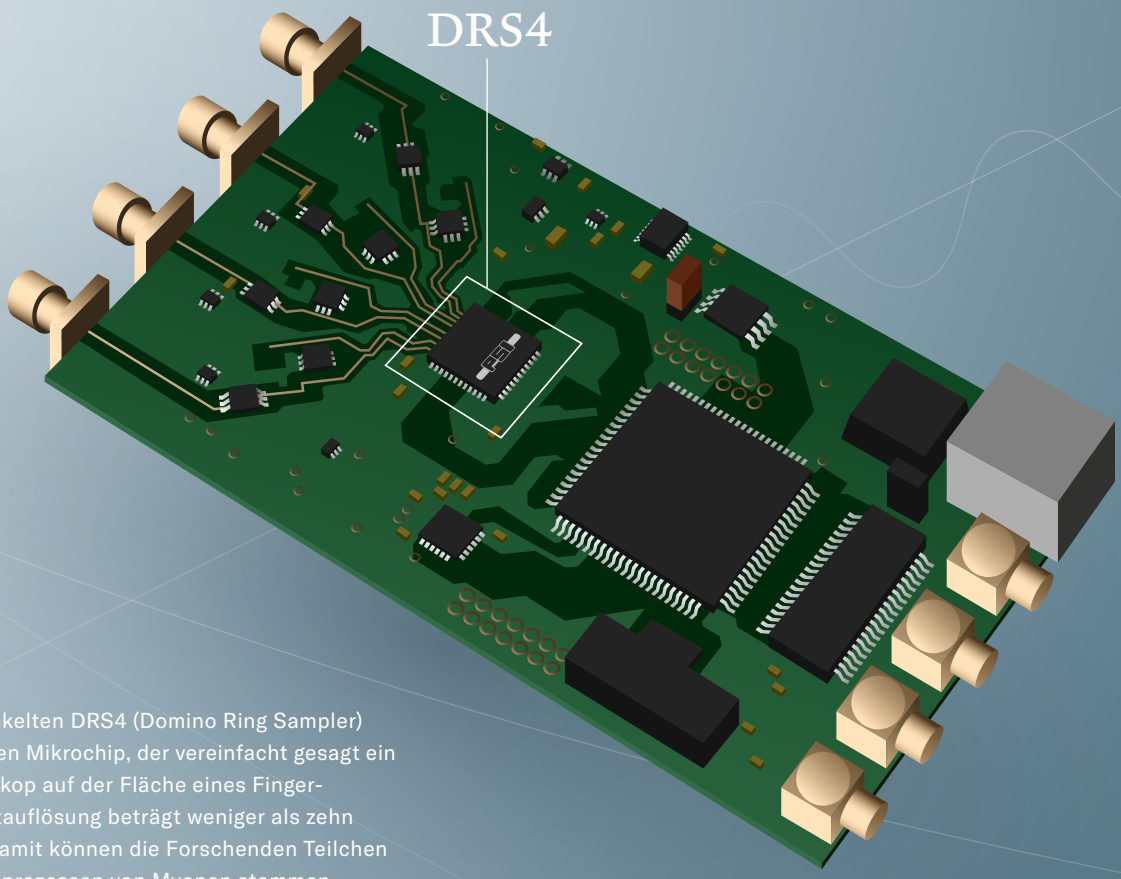
Im Prinzip ist der Detektor eine digitale Kamera mit 124 Millionen Pixeln von 150 mal 100 Mikrometern, die allerdings hier kein Licht messen, sondern geladene Teilchen – und zwar vierzig Millionen Mal pro Sekunde. Der erste Detektor ging 2008 mit dem LHC in Betrieb und bestand aus drei zylindrischen Schichten. Derzeit ist die zweite Evolutionsstufe mit vier Schichten und schnellerer Elektronik in Betrieb.

Für die nächste Ausbaustufe des LHC, die 2029 an den Start gehen soll, ist selbst dieser Detektor viel zu langsam. Die Luminosität – man könnte sagen: die Helligkeit – des LHC wird sich verfünffachen und CMS muss eine entsprechend grössere Zahl an Teilchenkollisionen verarbeiten. Für diese dann dritte Generation des Pixeldetektors hat sich Lea Caminada, Leiterin der zehnköpfigen Hochenergiephysik-Gruppe am PSI und Professorin an der Universität Zürich, etwas Neues überlegt: das Tracker-Extended-PiXel-System. TEPX soll einen noch größeren Raumwinkel abdecken und auch Teilchen registrieren, die annähernd in Richtung dieser Strahlen nach vorne oder hinten wegfliegen. Das ist wichtig, weil bestimmte exotische Teilchen – darunter auch das berühmte Higgs-Teilchen – Signaturen aufweisen, die nur an diesen Orten gemessen werden können und zurzeit nicht abgedeckt sind. Weil die Fläche des Detektors viel grösser sein wird und doppelt so viele Module verbaut werden, entwickelt das Team einen Roboter, der die Montage automatisiert.

«Wir verkaufen die Chips und die dazu gehörenden Elektronikboards zum Selbstkostenpreis.»

Stefan Ritt, Forschungsgruppenleiter am PSI





Der DRS4

Bei dem am PSI entwickelten DRS4 (Domino Ring Sampler) handelt es sich um einen Mikrochip, der vereinfacht gesagt ein ultraschnelles Oszilloskop auf der Fläche eines Fingernagels vereint. Die Zeitauflösung beträgt weniger als zehn Billionstelsekunden. Damit können die Forschenden Teilchen finden, die aus Zerfallsprozessen von Myonen stammen.

Die Schweizer Wirtschaft profitiert

Die hauseigene Entwicklung von Pixeldetektoren kommt auch anderen Forschungsfeldern zugute, etwa der Myon-Spin-Spektroskopie. Sie kann die magnetischen Eigenschaften von Materialien, etwa für künftige Quantencomputer, bestimmen. Dazu wird dieses Material in einem Magnetfeld mit Myonen beschossen, die in Mikrosekunden in Positronen zerfallen. Aus der zeitlichen Verteilung der Positronen können die Forschenden auf die Magnetisierung des Materials schliessen. Bisher geht das nur, wenn die Myonen einzeln nacheinander eintreffen. Der schnelle Detektor des PSI würde es erlauben, mit vielen Myonen gleichzeitig zu messen, was die Messrate vervielfachen und ein dreidimensionales Abbild der Magnetisierung im Inneren des Materials liefern würde.

So eine Apparatur könnte auch für industrielle Anwendungen interessant sein. Christian Brönnimann, einst Doktorand am PSI und Gründer des PSI-Spin-off DECTRIS AG in Baden-Dättwil, hat den ersten Silizium-Pixeldetektor für CMS mitentwickelt und zu einem kommerziell erfolgreichen Produkt gemacht. Die DECTRIS-Detektoren sind führend bei der Analyse von Röntgenstrahlen. Eine Spezialität des Unternehmens sind Hybriddetektoren, die gleichzeitig auch Elektronen zählen. «Durch die Grundlagenforschung am PSI sind hundert hoch qualifizierte Arbeitsplätze entstanden», so Brönnimann. Noch heute arbeiten DECTRIS und PSI zusammen. Lea Caminada: «Wir unterstützen uns gegenseitig mit Know-how bei der Entwicklung und dem Bau von neuen Detektoren. Davon profitiert unsere Forschung und davon profitiert auch die Schweizer Wirtschaft.» ◆

> «Von der gegenseitigen Unterstützung profitieren unsere Forschung und auch die Schweizer Wirtschaft.»
>
> Lea Caminada, Forschungsgruppenleiterin am PSI und Professorin an der Universität Zürich

Neutronen fokussieren

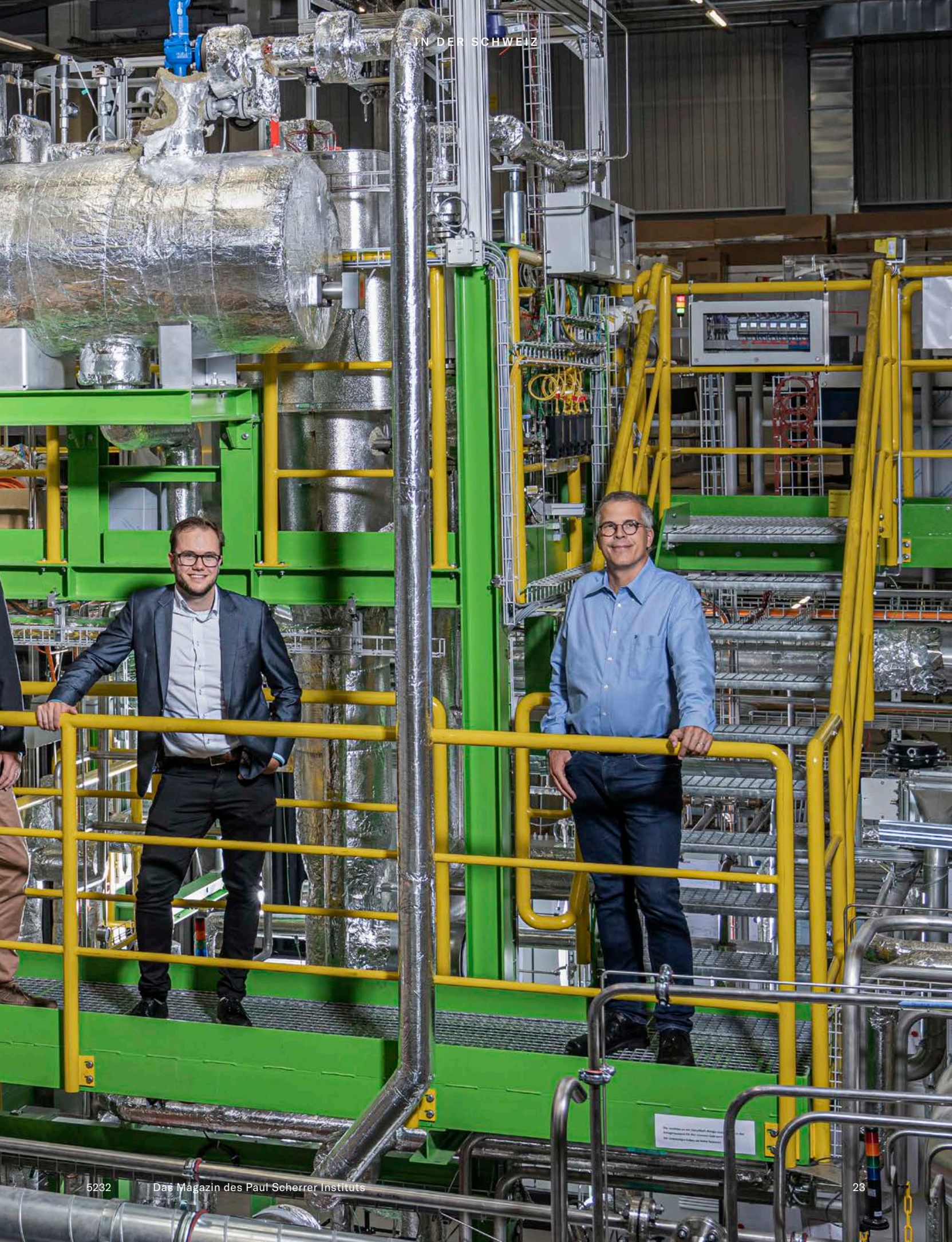
Der Physiker Artur Glavic entwickelt neuartige Instrumente für Grossforschungsanlagen, die es erlauben, mit Neutronen dünne Schichten und Grenzflächen von Materialien zu analysieren. Das zurzeit von ihm realisierte Neutronenreflektometer besteht aus zwei in Serie installierten, sieben Meter grossen, elliptischen Neutronenspiegeln. Damit ist es möglich, auf Proben zu fokussieren, die nur einen Quadratmillimeter klein sind. Im Vergleich zu bestehenden Reflektometern werden nun Strahlintensitäten erreicht, die dreissig Mal höher liegen und die Aufnahmen mit deutlich höherer Auflösung ermöglichen. Für seine ausserordentliche Leistung bei Bau und Entwicklung erhielt er dieses Jahr den Instrumentierungspreis des Komitees Forschung mit Neutronen.

Methan als Energiespeicher

Eine wichtige Frage bei der geplanten Wende hin zur Energieversorgung ohne den Ausstoss klimaschädlicher Gase lautet: Wie speichern wir Energie für jene Zeiten, in denen Windkraft- oder Photovoltaikanlagen keinen Strom liefern? Eine mögliche Antwort darauf geben Forschende des Paul Scherrer Instituts und des Start-ups AlphaSYNT. Mit einem neuen Ansatz zur «Power to Methane»-Umwandlung bieten sie eine industriell einsatzbereite Technologie, um Energie in Form von Methangas zu speichern.

Text: Benjamin A. Senn

Andreas Aeschimann und Luca Schmidlin von AlphaSYNT und Tilman Schildhauer vom PSI (von links) vor der Pilotanlage GanyMeth am PSI. Solche Anlagen sollen künftig von AlphaSYNT für Biogas- oder Abwasserreinigungsanlagen gebaut werden, um Energie in Form von Methangas zu speichern.



Stellen wir uns das folgende fiktive Szenario vor: Wir schreiben das Jahr 2050. Im Rahmen einer Wohltätigkeitsveranstaltung und auf Zurufe seiner weltweiten Fans wagt sich der mittlerweile 69-jährige Roger Federer noch einmal auf den Rasen, um in einem Freundschaftsspiel gegen seinen langjährigen Kontrahenten Rafael Nadal anzutreten. Ein Weltereignis, das live aus der St. Jakobshalle in Basel auf die heimischen und internationalen Bildschirme und zu den unzähligen Public Viewings in der ganzen Schweiz übertragen wird. Es ist ein schwüler Samstagnachmittag im Juli, die Getränke werden zuhauf gekühlt und die Klimaanlagen laufen auf Hochtouren. Der Himmel ist bewölkt und der Wind bleibt aus.

Wahrscheinlich bietet das Wetter nicht die idealen Voraussetzungen für den nicht mehr ganz so jungen Roger Federer, um Hochleistungssport zu betreiben. Auch den Zuschauern macht die drückende Atmosphäre zu schaffen. 2050 hängen in der Schweiz keine Kernkraftwerke mehr am Netz und neue erneuerbare Energien wie Wind- und Solarenergie leisten einen wichtigen Beitrag zu unserer Stromversorgung. Doch wenn die Sonne nicht scheint und der Wind nicht weht, bleiben die Bildschirme schwarz und das grösste TV-Ereignis des Jahres fällt aus.

Zugegeben, das Szenario wirkt etwas konstruiert – die zugrunde liegende Problematik ist jedoch brandaktuell. Neue erneuerbare Energien sinnvoll zu speichern, um sie auch ausserhalb von Spitzenzeiten ins Netz einspeisen zu können, ist eine Herausforderung, an der intensiv geforscht wird – so auch am PSI.

Die bestehende Infrastruktur nutzen

Seit fast zehn Jahren entwickelt das Labor für Bioenergie und Katalyse am PSI Prozesse, um Biomasse aus land- und forstwirtschaftlichen Abfällen sauber und effizient in gasförmige oder flüssige Brenn- oder Treibstoffe umzuwandeln. Power-to-Gas nennt sich dieses Konzept, bei dem überschüssiger Strom dazu verwendet wird, Wasserstoff zu produzieren und in einem zweiten Schritt in synthetisches Erdgas umzuwandeln.

Der erste Schritt geschieht über die sogenannte Wasserelektrolyse. Hierbei wird mithilfe von Strom aus erneuerbaren Quellen Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff gespalten. Die elektrische Energie wird dadurch in einen chemischen Energieträger, in Wasserstoff, umgewandelt.

«Mithilfe von Brennstoffzellen lässt sich Wasserstoff wieder in Strom umwandeln», erklärt Tilman Schildhauer, wissenschaftlicher Leiter der Methanisierungsforschung am PSI. Diese Zellen sind sehr leistungsstark und sauber. Dadurch, dass sie keine Verbrennung erfordern, entstehen bloss Wärme und Wasser als Nebenprodukte. «Allerdings sind die Herstellungskosten sehr hoch. Zudem handelt es sich bei Wasserstoff um ein leichtes Gas, das ein enormes Speichervolumen beansprucht. Auch fehlt in der Schweiz oft noch die nötige Infrastruktur, um Wasserstoff sinnvoll zu nutzen.»

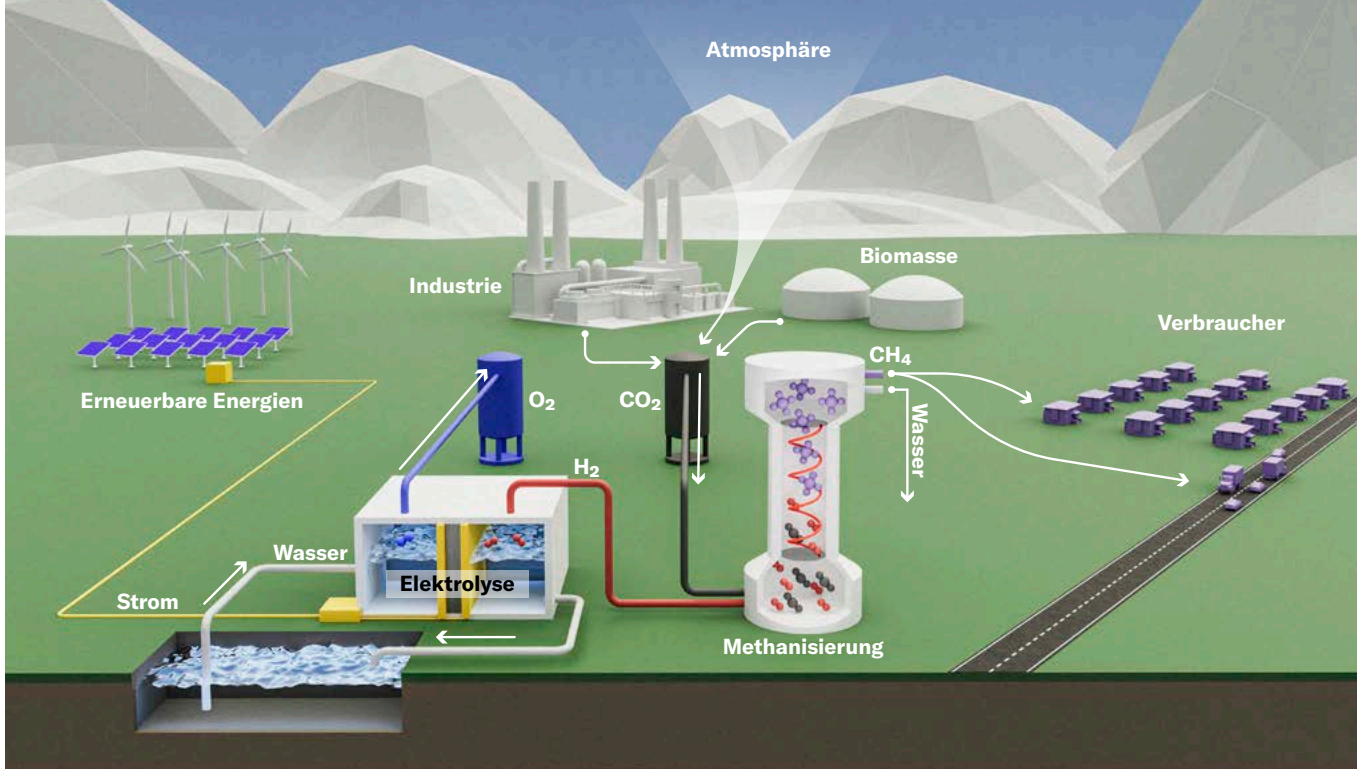
Anders verhält es sich mit Methan. Das farb- und geruchlose Gas beansprucht bei gleichem Energiegehalt nur ein Drittel des Volumens von Wasserstoff und lässt sich bereits heute über dieselbe Infrastruktur wie Erdgas speichern und verteilen. Tilman Schildhauer und sein Team nutzen deshalb den gewonnenen Wasserstoff, um ihn in einem zweiten Schritt zu Methan zu synthetisieren.

Von Wasserstoff und Kohlenstoff zu Methan

Bereits 1902 entdeckten die französischen Chemiker Paul Sabatier und Jean-Baptiste Senderens die Reaktion von Kohlendioxid und Wasserstoff zu Methan und Wasser. Seither entstanden viele unterschiedliche Verfahren, um diese Reaktion so effizient wie möglich zu gestalten. Die Forschenden am PSI haben für ihren Methanisierungsprozess einen Wirbelschichtreaktor entwickelt, welcher feinkörnige Nickelpartikel als Katalysatoren enthält. Mit dem Einströmen des Kohlendioxids und des Wasserstoffs werden die Partikel aufgewirbelt und durch die aufwärtsgerichtete Strömung in einen sogenannten fluidisierten Zustand versetzt – die Reaktion läuft dadurch über die Länge des Reaktors kontinuierlich ab.

Nebst Methan und Wasser entstehen durch diese Reaktion auch hohe Temperaturen. Um den Prozess aufrechtzuerhalten und hohe Umsätze zu erzielen, muss das Gemisch auf die optimale Reaktionstemperatur heruntergekühlt werden. Hierfür haben Tilman Schildhauer und sein Team einen besonderen Kniff angewandt: «Über ein Rohrsystem lassen wir Öl durch unseren Reaktor fliessen, welches die Wärme im Inneren des Reaktors aufnimmt und draussen wieder abgibt – ähnlich wie bei einem Kühlschrank», erklärt Tilman Schildhauer. Diese Konstruktion und die Fluidisierung der Partikel erlauben eine besonders effiziente Kühlung und resultieren in einem isothermen, also temperaturstabilen, kompakten und kostengünstigen Reaktor.

Dieser Reaktor lässt sich nun beispielsweise in Biogasanlagen einsetzen. Biogas entsteht durch Vergärung von Biomasse wie Gülle, Pflanzen oder Klärschlamm und besteht zu etwa zwei Drittel aus Methan und zu einem Drittel aus Kohlendioxid. Damit nun dieses Gasgemisch wirksam im Gasnetz genutzt werden kann, muss es einen gewissen Reinheitsgrad aufweisen – mindestens 96 Prozent



Schematische Darstellung der Wertschöpfungskette: Aus Wasser und Strom wird mittels Wasserelektrolyse Sauerstoff (O_2) und Wasserstoff (H_2) gewonnen. Wasserstoff (H_2) und Kohlendioxid (CO_2) reagieren wiederum zu Methan (CH_4), welches schliesslich zu den Verbrauchern gelangt.

Methangehalt lautet die Devise. «Das Gasgemisch kommt zusammen mit dem gewonnenen Wasserstoff in unseren Wirbelschichtreaktor und das Kohlendioxid reagiert zu zusätzlichem Methan», so Tilman Schildhauer.

Der Schritt vom Labor in die Industrie

Die Technologie funktioniert und ein erster Pilotreaktor wurde am PSI gebaut und getestet (siehe Seiten 22/23). Jetzt gilt es, den Methanisierungsprozess in der Industrie umzusetzen. Dafür hat sich das PSI mit dem Start-up AlphaSYNT zusammengeschlossen. Gemeinsam wollen sie den neuen Ansatz vermarkten – nicht für private Haushalte, dafür ist die Technologie zu komplex. Vielmehr sollen grössere Energieversorger, welche beispielsweise im Besitz von Biogasanlagen sind, von dieser Technologie profitieren.

2020 wurde AlphaSYNT von Andreas Aeschimann (Geschäftsführer) und Luca Schmidlin (Technischer Direktor) als Start-up gegründet. Aus einem zufälligen Gespräch während der Kaffeepause eines Seminars für Messtechnik wuchs eine starke Partnerschaft mit gemeinsamem Ziel. «Alpha steht für Anfang – wir wollten beide an vorderster Front dabei sein, etwas wagen und investieren, um den Umbau des Energiesystems mitzugestalten und voranzubringen. Luca und ich haben uns auf Anhieb verstanden», erinnert sich Andreas Aeschimann. «Die Technologie vom PSI ist ready to use. Durch unser wirtschaftliches und technisches Know-how können wir dieses Ziel nun verwirklichen.»

Mit der Vermarktung des am PSI entwickelten Methanisierungsprozesses sollen fossile Gase sukzessive durch erneuerbares Methangas ersetzt werden. «Die flexible Speicherung von überschüssigem Strom aus erneuerbaren Energiequellen im Sommer trägt zudem zur Stabilisierung des Stromnetzes bei», erklärt Andreas Aeschimann.

Blick in die Zukunft

Nicht nur Biogasanlagen können von der Partnerschaft mit AlphaSYNT und dem PSI profitieren. Die Technologie funktioniert mit jeglicher Form von Kohlendioxidquelle. Das Kohlendioxid lässt sich beispielsweise aus der Umgebungsluft entziehen oder es stammt aus Abwasserreinigungsanlagen, Kehrichtverbrennungsanlagen, Zementwerken oder Anlagen mit Holzvergasung. Für Letztere haben AlphaSYNT und das PSI im Mai 2022 den Zuschlag zum Bau einer Methanisierungsananlage in Portugal erhalten.

Der Pilotreaktor ist Teil der Energy-System-Integration-Plattform des PSI, kurz ESI. In enger Zusammenarbeit mit AlphaSYNT und weiteren Partnern aus Forschung und Industrie werden hier verschiedene Varianten der Power-to-Gas-Technologie auf ihre technische und wirtschaftliche Machbarkeit hin untersucht.

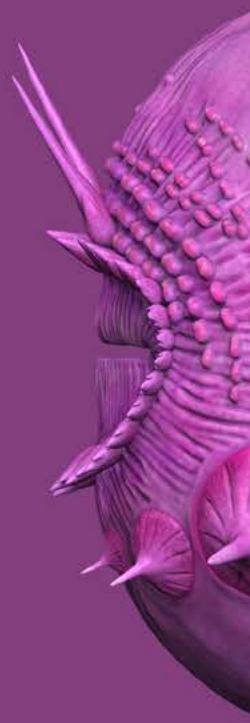
Damit sollte unserem fiktiven Tennismatch der Zukunft nichts mehr im Wege stehen – eine Durchführung obliegt nun der Motivation von Roger Federer und seinem möglichen Gegner, Rafael Nadal. ◆

Aktuelles aus der PSI-Forschung

In **535** Millionen Jahre altem Gestein wurden die Fossilien gefunden.

Etwa **1** Millimeter beträgt der Durchmesser der Fossilien.

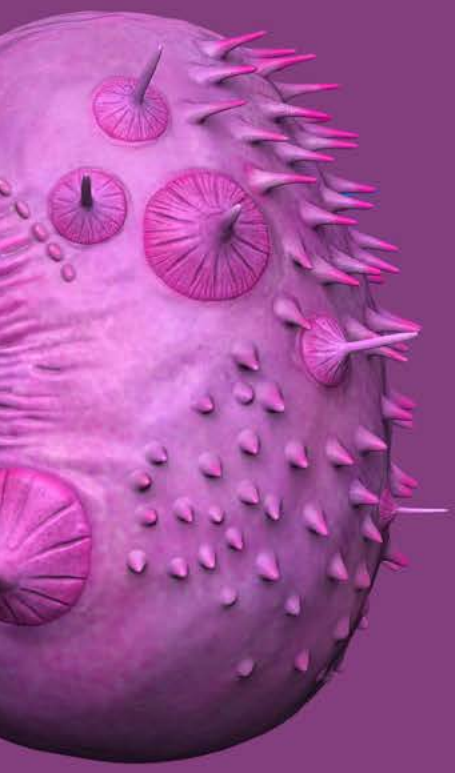
Aus dem Jahr **2017** stammt die nun entlarvte Fehlinterpretation.



1 Seltsames Fossil ist nicht unser Vorfahre

Kürzlich wurde vermutet, dass die evolutionären Wurzeln des Menschen bis zu einem seltsamen, mikroskopisch kleinen Wesen mit einem Mund und ohne Anus zurückreichen könnten. Dank der Analyse von Fossilien an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS wissen wir nun, dass dies nicht stimmt: *Saccorhytus* ist kein *Deuterostom* wie wir, sondern zählt zu den *Ecdysozoa*. Das kurios aussehende Fossil ähnelt einem stacheligen, faltigen Sack, mit einem von Stacheln umgebenen Mund und Löchern, die als Kiemenporen interpretiert wurden. Eben jene vermeintlichen Kiemenporen führten auf die falsche Fährte. Mit den neuen Untersuchungen an der SLS konnten diese als Basen von Stacheln entlarvt und das Fossil aus unserer Ahnenliste gestrichen werden.

Weitere Informationen:
http://psi.ch/de/node/52886



2 Tumore nierenschonend diagnostizieren

Forschende des PSI haben in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich eine Diagnosemethode für Tumore mithilfe von Radionukliden optimiert. Durch einen molekularen Kniff fallen mögliche Nebenwirkungen nun wesentlich geringer aus. Dazu modifizierten sie ein Molekül, das einen Tumor aufspüren kann. Dieses Molekül enthält sowohl eine spezifische Bindungsstruktur für Tumore als auch ein Radionuklid. Dockt das Molekül an den Tumor an, so kann das Radionuklid detektiert werden. Gelangt das Molekül hingegen in die Niere, dann wird es dort – dank des molekularen Kniffs – gespalten. Danach wird das Radionuklid über die Harnwege direkt aus dem Körper ausgeschieden. Dadurch reduzieren sich radioaktive Ablagerungen in der Niere deutlich. Radionuklide sind instabile Atome, die spontan zerfallen und dabei energiereiche Strahlung freisetzen. Die Forschenden hoffen, dass ihre Ergebnisse auch für andere Radiopharmazeutika verwendet werden können, die mit ähnlichen Nebenwirkungen verbunden sind.

Weitere Informationen:
http://psi.ch/de/node/53842

3 Nanomaterial aus dem Mittelalter

Zum Vergolden von Skulpturen verwendeten Künstler im späten Mittelalter oft einen hauchdünnen Goldfilm, der von einer Silberschicht getragen wurde. Dieses sogenannte Zwischgold war deutlich preisgünstiger als herkömmliches Blattgold, da seine Goldschicht wesentlich dünner ausfällt. Allerdings existieren keine Aufzeichnungen, wie das Zwischgold damals hergestellt wurde. Nun haben Forschende am PSI erstmals dreidimensionale Nanobilder davon gemacht. Die Aufnahmen zeigen, wie hoch entwickelt die mittelalterliche Fertigungstechnik war. Zuerst wurde das Gold sowie das Silber separat behämmert, sodass Folien entstanden, wobei die Goldschicht viel dünner sein musste als das Silber. Dann wurden die beiden Metallfolien zusammen weiter bearbeitet. Nach den Untersuchungen von Zwischgold-Proben beträgt die durchschnittliche Dicke der Goldschicht etwa 30 Nanometer, während das in denselben Regionen und Epochen hergestellte Blattgold etwa 140 Nanometer dick ist. Die Ergebnisse könnten unter anderem bei der Entwicklung neuer Techniken für die Konservierung oder Restaurierung alter Kunstwerke helfen.

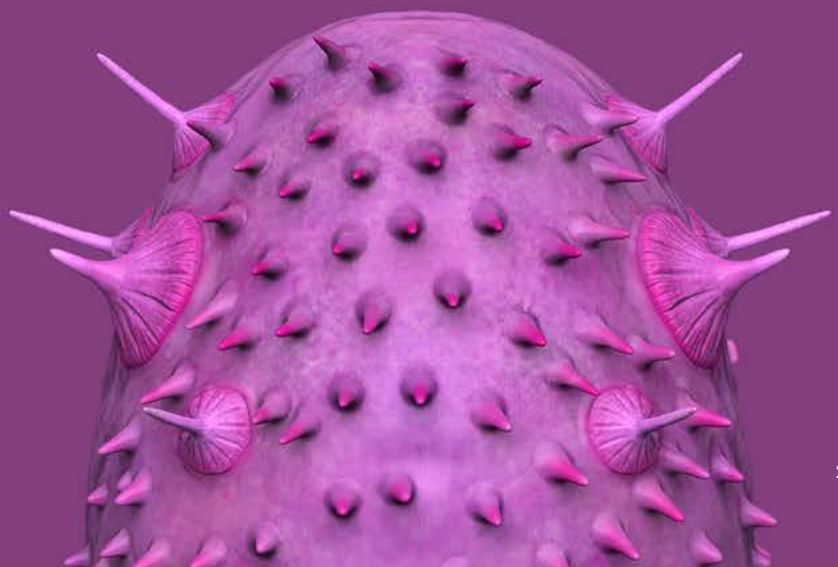
Weitere Informationen:
http://psi.ch/de/node/53727

4 Ausgezeichnete PSI-Elektroniker

Bei den Berufsmeisterschaften im Bereich Elektronik haben zwei Nachwuchs-Elektroniker des PSI die beiden höchsten Medaillen erhalten: Bei den Landesweiten «SwissSkills 2022» gelang Melvin Deubelbeiss der erste Platz. Kurz darauf fanden die Weltmeisterschaften «WorldSkills 2022» statt, bei denen Mario Liechti für die Schweiz – und inoffiziell für das PSI – die Silbermedaille holte. Beide Elektroniker haben ihr Metier am PSI im Forschungsbereich Forschung mit Neutronen und Myonen gelernt. Diese Gold- und Silbermedaillen zeigen, dass das PSI talentierten Nachwuchs anzieht und diesen jungen Menschen sowohl anregende Aufgaben geben kann als auch eine hervorragende Ausbildung.

Die WorldSkills werden in 62 Disziplinen ausgetragen: Von der Autolackiererei über Floristik und Kochen bis zur Webtechnologie messen sich junge Menschen in ihrem Können. Die Wettkämpfenden dürfen je nach Disziplin höchstens 22 oder höchstens 25 Jahre alt sein. SwissSkills ist eine nationale Organisation, welche junge Berufsleute fördert und ihnen die Teilnahme an internationalen Meisterschaften wie beispielsweise den WorldSkills ermöglicht.

Weitere Informationen:
http://psi.ch/de/node/53619
http://psi.ch/de/node/54278



Andere Perspektiven

Am PSI blicken Forschende mithilfe von teils einzigartigen Grossforschungsanlagen tief in die Materie. Der Ausschnitt, den sie dabei zu sehen bekommen, bis zum Winzigsten, das existiert, hat zumeist wenig mit dem gemein, was das blosse Auge ohne Hilfsmittel erfassen kann. In dieser Galerie spielen wir mit diesem Gegensatz zwischen dem Grossen und Kleinen und führen Sie dabei vorbei an Fassaden des Paul Scherrer Instituts.

Text: Christian Heid

Galaktischer Nebel

Vielleicht könnte galaktischer Nebel so aussehen. Vielleicht … Andere sehen eine weisse Skipiste oder erkaltete Lava, die sich vom rechten unteren Bildrand kommend über eine steile Schussstrecke und eine kleine Welle durch eine bräunliche, milchig-dunstige Bergwelt zum jenseitigen Rand zieht. Wieder andere denken an ein Detail von Gewebe auf einem Röntgenbild.

Tatsächlich zeigt diese Aufnahme aber einen Ausschnitt des im kleinen Foto schön in Szene gesetzten, marmorierten Eingangsportals des SwissFEL, dem Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlaser. Diese jüngste Grossforschungsanlage des PSI erzeugt sehr kurze Pulse von Röntgenlicht mit Lasereigenschaften. Damit können Forschende extrem schnelle Vorgänge wie zum Beispiel die Entstehung neuer Moleküle in chemischen Reaktionen verfolgen.

Brotkruste

Diese leckere «Brotkruste» mit fein verteilten Haferflöckchen, in die sich ein unüberschaubares, dunkles Labyrinth von Rissen während des Backvorgangs eingebrannt hat, ist in Wirklichkeit nicht besonders schmackhaft: Das Bild zeigt vielmehr Dachpappe, die das UFO-förmige Gebäude der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS auf dem PSI-Gelände West vor Regen, Wind und Sonne schützt. Im Gegensatz zur schattigeren Seite des Gebäudes hat die Sonneneinstrahlung hier, auf der Sonnenseite, für jene Erscheinung gesorgt, die auch sonnenverbrannte, gealterte Haut zeigen kann. Mit dem Synchrotronlicht der SLS, einem besonders intensiven Röntgenlicht, können beispielsweise Proteinstrukturen entschlüsselt oder in 3-D-Bildern die Verteilung eines Elementes in einer Legierung sichtbar gemacht werden. Bis 2025 erfährt die Anlage ein Update und die Qualität der Röntgenstrahlung für die Forschung wird auf das 40-Fache des bisherigen Wertes verbessert.

Mondoberfläche

Die Aufnahme könnte die Aussicht von einer Mondlandefähre im Anflug oder ein anderes, bläulich gefärbtes Relief mit Kratern darstellen, das vielleicht zu einem fremdartigen Himmelskörper gehört. Gut erkennen liesse sich dann auch die Tag-Nacht-Grenze, der sogenannte Terminator oder Separator. Die scheinbare Tag-Nacht-Grenze ist tatsächlich ein fliessender Farbverlauf von einem dunklen zu einem hellen Blau im brandneuen Graffiti auf der Fassade des psi forums, dem Besucherzentrum des PSI. Die neu gestaltete, öffentlich zugängliche Ausstellung ist ein Portal zur Welt der Wissenschaft. Hier können sich Besucherinnen und Besucher von Exponaten faszinieren lassen und erfahren, mit welchen Themen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am PSI beschäftigen.

Drachenfrucht

Die Früchte mancher Kakteengewächse haben eine raue, widerborstige Oberfläche, vergleichbar mit dem Metallgitter, das eine Klimaanlage auf der Rückseite des Auditoriums einfasst. Ganz im Gegensatz zu ihrem botanischen, optisch ähnlichen Gegenstück soll diese Fassade aber nicht abweisen, sondern das Gebäude soll zu Austausch und Dialog einladen. Das Auditorium ist unter anderem ein Ort, an dem Forschende mit Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern anderer Forschungseinrichtungen zusammenkommen und sich über ihre Forschungswelten austauschen. Ausserdem finden hier weitere interne und externe Veranstaltungen statt, beispielsweise, wenn internationale Delegationen oder auch nationale Politikerinnen und Politiker das Institut besuchen.

Fossil

Dieses Objekt könnte auch ein Hinweis auf urzeitliches Leben sein: das Fossil eines Baumstamms. Doch es handelt sich nicht um eine Mineralisierung, hier wurden nicht organische Elemente in anorganische Verbindungen umgewandelt. Diese Idee liegt gleichsam deshalb nahe, weil es sich tatsächlich um die Jahresringe eines Baumes handelt, die sich vom Schalholz auf diese Betonoberfläche übertragen haben.

Hinter dieser Betonwand befindet sich ein Linearbeschleuniger, der sogenannte Cockroft-Walton-Beschleuniger, der Ursprung des Protonenstrahls am PSI. Die Protonen werden einerseits für Grundlagenforschung, Materialanalyse und zur Krebsbehandlung eingesetzt, andererseits werden mit ihrer Hilfe Neutronen, Myonen und Pionen erzeugt, die dann wie Sonden für Einblicke in Materialien und Vorgänge genutzt werden können.

Herzhaft, aber mit Raffinesse

Die Lehre im PSI-Personalrestaurant Oase lieferte Michaela Frank die Basis für ihre Karriere als eine der jüngsten Spitzenköchinnen der Schweiz. Die Aargauerin wurde mit der Junioren-Kochnationalmannschaft Vize-Olympiasieger und bestritt erfolgreich zahlreiche Einzelwettbewerbe. Heute fungiert die 26-Jährige als Küchenchefin im Zürcher Kultur Lokal Rank.

Text: Barbara Vonarburg

Morgens um 10 Uhr wird im Restaurant Rank in der Zürcher Altstadt geputzt. Bevor die Arbeiten fürs Mittagessen beginnen, führt Michaela Frank durchs Lokal an der Niederdorfstrasse. «Hier, wo unsere Tische und die Konzertbühne stehen, war früher das Calypso, ein Stripclub», erzählt sie: «Und an einem Take-away gab's die stadtbekannte Currywurst.» Jetzt beherbergt das modern renovierte Lokal ein Restaurant, in dem raffinierte Gerichte aus lokalen Produkten auf den Tisch kommen und getoastete Sandwiches zum Mitnehmen verkauft werden. «Eine zeitgenössische Zürcher Küche, ihren Wurzeln verbunden und doch weltgewandt. Herzhaft, spannend und wohlwollend», so das Motto des Restaurants.

Michaela Frank zieht einen Vorhang beiseite. So wird für die Gäste der Blick frei auf den Arbeitsort der jungen Küchenchefin und ihres fünfköpfigen Teams. Nur wenn jeweils von Donnerstag- bis Samstagabend Musiker und Musikerinnen der Schweizer Jazz-Szene hier spielen, wird der Vorhang wieder zugezogen, um nicht vom Konzert abzulenken. Der Rank ist mehr als ein Restaurant, er versteht sich als «Begegnungsstätte für Kunst und Kulinarik. Eine Fusion zwischen Gastronomie und Konzertsaal» – ein Konzept, das Michaela Frank auf Anhieb gefiel. Deshalb entschloss sie sich, im Oktober 2021 die Stelle als Küchenchefin im neu eröffneten Lokal anzutreten.

Das PSI – ein Glücksfall

In Nussbaumen im Kanton Aargau aufgewachsen, schnupperte sie als Schülerin in verschiedenen Restaurants in der Umgebung für eine Kochlehre. Doch immer wieder wurde ihr geraten: «Geh doch ins PSI.» «Ich wusste gar nicht recht, warum, doch ich ging hin und bekam die Lehrstelle», erinnert sie sich. «Ein Glücksfall, denn das PSI-Personalrestaurant hatte und hat noch immer einen sehr guten Ruf.» Christian Wandres, heute Leiter der PSI-Gastronomiebetriebe Oase, war damals als Küchenchef der Lehrmeister von Michaela Frank. Franz Jonke, der ehemalige Betriebsleiter, und Doris Vögeli, heute PSI-Küchenchefin, gewannen mit ihrer Kochkunst mehrere internationale Wettbewerbe. «Doris Vögeli war meine Mentorin und hat für mich vieles möglich gemacht», erinnert sich Frank.

Die Vorgesetzten erkannten das Talent ihrer Auszubildenden und sicherten ihr die Unterstützung zu, falls sie ebenfalls an Kochwettbewerben teilnehmen wollte. Sie wollte. «Ich liebe Herausforderungen», sagt Frank. «Diese Wettbewerbe gaben mir ein Ziel, auf das ich hinarbeiten konnte.» Nach dem Abschluss der Lehre bekam sie sogar einen Platz in der Junioren-Kochnationalmannschaft und errang mit diesem Team den Titel als Vize-Olympiasieger. «Als Kind in der Schule war ich eher still und zurückhaltend», erzählt sie. «Meine asiatischen Wurzeln waren mein auffälligstes Merkmal.» Doch beim Kochen merkte sie: «Das ist es, was ich machen möchte.» Durch den Erfolg in den Wettbewerben sei sie in einem neuen Licht wahrgenommen worden, was zusätzlichen Schub gegeben habe.

Auch später durfte sie vor Kochwettbewerben die PSI-Küche für Probeläufe nutzen. Und heute geht sie noch immer im Restaurant Oase ein und aus als Gast. Sie erinnert sich gern an ihre Lehrzeit und erzählt schmunzelnd, wie sie schon im ersten Jahr jeweils 100 Kilogramm Spätzle selbst zubereitete: «Nachdem ich den Teig gemacht hatte, ging ich zum riesengrossen Kippkochkessel und dem gewaltig langen Sieb mit den Löchern. Dann drückte ich die Spätzle mit dem Teighorn durch das Sieb, was für mich einem Work-out gleichkam, weil ich doch eher klein gewachsen bin.»

«Meine Lehre war ein Glücksfall,
denn das PSI-Personalrestaurant hatte und hat
noch immer einen sehr guten Ruf.»

Michaela Frank, Küchenchefin im Zürcher Kultur Lokal Rank

Der Sprung in die Gourmet-Küche

Aus heutiger Sicht hatte sie im Personalrestaurant einen «Schoggi-Job» mit geregelten Arbeitszeiten, wie es sie sonst in keiner Restaurantküche gibt. «Es war ein Rahmen, in dem ich gut aufgehoben war und ein solides Fundament erlernte», sagt Frank. Das Essen für das PSI-Personal musste gut abgeschmeckt und heiss sein sowie schön aussehen. «Alles unter unserem hohen Standard haben wir nicht serviert», sagt sie. Trotzdem war der Sprung gross, den sie unmittelbar nach dem Lehrabschluss machte, als sie 2015 eine Stelle als Köchin in einem 5-Sterne-Haus in Flims antrat und später im Park Hotel Vitznau arbeitete, als dessen Küchenchef, Nenad Mlinarevic, gerade zum Koch des Jahres gewählt worden war.

Doch der Moment kam, an dem Frank ihr Engagement in der Gourmetküche und der Junioren-Kochnationalmannschaft infrage stellte. «Ich hatte einen Durchhänger», erzählt sie. «Ich fing an, mich mit mir selbst auseinanderzusetzen, was ich zuvor noch nie getan hatte, und ich merkte, ich muss auch mal leben.» Sie gab die Wettbewerbe auf und arbeitete eine Zeit lang als Barista. «Der Umgang mit Kaffee erwies sich zwar als lustig, doch der Job war nicht das, wonach ich gesucht hatte», sagt sie. Sie beschloss, in China nach ihren Wurzeln zu suchen. In Schanghai erwarb sie ein Sprachzertifikat, doch sie fühlte schnell, wie fremd ihr China war. Sie reiste weiter durch Asien, kehrte in die Schweiz zurück und wusste immer noch nicht, wie ihre Zukunft aussehen sollte, bis die Freude an ihrer früheren Tätigkeit zurückkehrte.

«Ich wollte es nochmals wissen mit dem Gourmet- und Sternekochen und bewarb mich auf ein Stipendium bei der Uccelin-Stiftung», erzählt Frank. Diese Stiftung wurde vom Schweizer Starkoch Andreas Caminada gegründet, um den gastronomischen Nachwuchs zu fördern. Die Stipendiatinnen und Stipendiaten können während zwanzig Wochen in verschiedenen Spitzenbetrieben im In- und Ausland arbeiten. Frank erhielt das Uccelin-Stipendium. Im Oktober 2019 startete sie bei Caminada in Fürstenau, Kanton Graubünden. Dann lernte sie in zwei Spezialbäckereien im Kanton Luzern, wie man besonders schmackhaftes Brot bäckt und bei einem Chocolatier in Belgien, worauf es bei der Herstellung von Pralinen ankommt.

Tränengas in Chile

Zu den weiteren Stationen zählte das renommierte «Stucki» in Basel, aber auch verschiedene Restaurants in Istanbul und Santiago de Chile. «In Chile lief alles anders als geplant», erzählt Frank. Eine Erhöhung der Preise für die U-Bahntickets war der Auslöser für eine Demonstrationswelle im November 2019. «Die Kluft zwischen Arm und Reich ist in Chile extrem gross», erklärt sie, deshalb seien die Proteste zwar verständlich, aber auch beängstigend gewesen. «Ich geriet oft in eine Demonstration, die ich durchqueren musste, um nach Hause zu kommen.» Glücklicherweise passierte ihr nie etwas, ausser dass Tränengas Augen und Haut reizte. Aus Chile nahm sie aber auch den «megacoolen» Tipp eines Kochs mit. Er bemerkte, dass der Küchenboden um sie herum nicht sauber war und wies sie zurecht: «Es ist mir egal, was in deinem Lebenslauf steht. Wenn dein Boden dreckig ist, kannst du nicht bei mir arbeiten.» Tatsächlich sage der Arbeitsplatz mehr über eine Person aus als ihre Qualifikationen, ist Frank überzeugt.

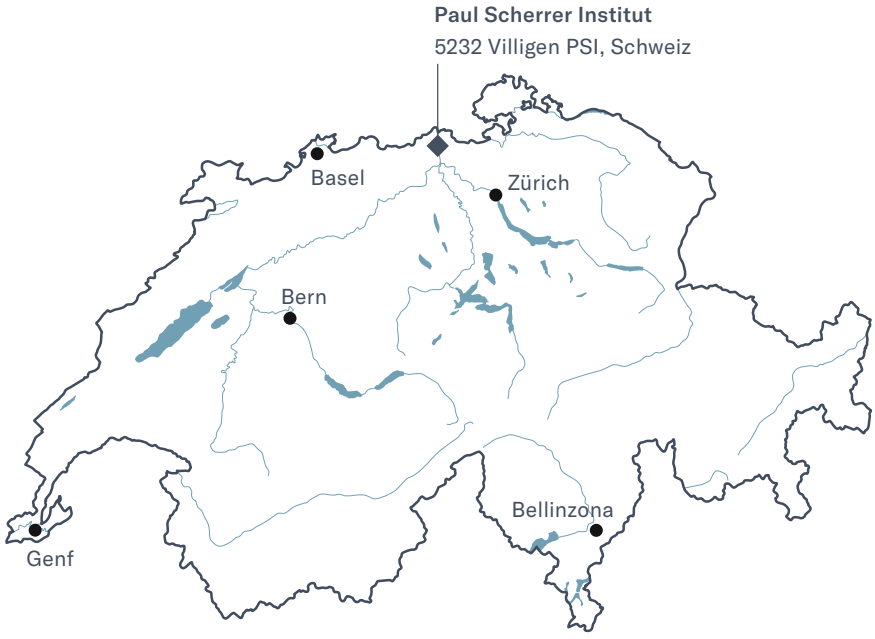
Nach dem Ende des Stipendiums folgte der Corona-Lockdown im Frühling 2020. Frank war aus dem Ausland zurückgekehrt und genoss die Pause nach der hektischen Zeit. «Für viele war dies eine schwierige Phase», ist sie sich bewusst. «Ich blieb gerne zu Hause und kochte jeden Tag für meine Eltern.» Doch schon bald arbeitete sie wieder in einem Spitzenrestaurant und entschied sich für die Weiterbildung zur Chefköchin. «Es war eine spezielle Erfahrung, wieder in die Schule zu gehen», erinnert sie sich. «Beim Kochen ist der Rhythmus sehr hoch, es ist intensiv, man muss das Handwerk beherrschen und schnell sein. Die Konzentration beim Lernen musste ich wieder aufbauen.» Sie bestand ihre Abschlussprüfung, realisierte verschiedene Projekte mit einem eigenen Catering und entschied sich schliesslich für die Leitung des Küchenteams im Restaurant Rank.

Viel Gemüse, wenig Fleisch

Eines ihrer «Herzensgerichte» auf der Karte ist der Congee, ein chinesisches Reisgericht. «Das ist die Leinwand für alle Gemüse, die wir jeweils frisch von unseren Produzenten in der Region bekommen», erklärt sie. Nachhaltigkeit ist ihr wichtig. Deshalb enthält das Menu oft auch Knödel, um das Brot zu verwerten, das bei der Produktion der getoasteten Sandwiches übrig geblieben ist. Fleisch dagegen kocht sie nur wenig. «Die Gerichte sind sehr gemüselastig, aber mit einer gewissen Raffinesse», charakterisiert sie ihre Küche. «Es ist nicht Fine-Dining auf höchster Stufe, die Leute sollen einfach etwas Gutes zu essen bekommen, sich wohlfühlen und jede Woche wieder kommen.»

Noch will sie ein paar Jahre im Rank im Zürcher Niederdorf bleiben und Erfahrungen sammeln. «Irgendwann kommt der perfekte Moment, um weiterzuziehen, jetzt gibt es hier aber noch viel zu entdecken», meint sie lachend und ist sich schon jetzt sicher. «Wenn es so weit ist, wird es gut sein.» ◆

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



5232 ist die Adresse für Forschung an Grossforschungsanlagen in der Schweiz. Denn das Paul Scherrer Institut PSI hat eine eigene Postleitzahl. Nicht ungerechtfertigt, finden wir, bei einem Institut, das sich über 342 000 Quadratmeter erstreckt, eine eigene Brücke über die Aare besitzt und mit 2200 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 Eidgenossenschaft haben wir den Auftrag erhalten, komplexe Grossforschungsanlagen zu entwickeln, zu bauen und zu betreiben. Unsere Anlagen sind in der Schweiz einzigartig, manche Geräte gibt es auch weltweit nur am PSI.

Zahlreiche Forschende, die auf den unterschiedlichsten Fachgebieten arbeiten, können durch Experimente an solchen Grossforschungsanlagen wesentliche Erkenntnisse für ihre Arbeit gewinnen. Gleichzeitig sind Bau und Betrieb derartiger Anlagen mit einem so grossen Aufwand verbunden, dass Forschergruppen an den Hochschulen und in der Industrie an der eigenen Einrichtung solche Messgeräte nicht vorfinden werden. Deshalb stehen unsere Anlagen allen Forschenden offen.

Um Messzeit für Experimente zu erhalten, 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 wissenschaftliche Qualität hin und empfehlen dem PSI, wer tatsächlich Messzeit bekommen soll. Denn obwohl es rund 40 Messplätze gibt, an denen gleichzeitig Experimente durchgeführt werden können, reicht die Zeit nie für alle eingegangenen Bewerbungen. Rund die Hälfte bis zwei Drittel der Anträge müssen 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

5

schweizweit einzigartige Grossforschungsanlagen

800

Fachartikel jährlich, die auf Experimenten an den Grossforschungsanlagen beruhen

5000

Besuche jährlich von Wissenschaftlern aus der ganzen Welt, die an diesen Grossforschungsanlagen Experimente durchführen

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

Insgesamt unterhält das PSI fünf 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.

Vier 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 vier Schwerpunkte. Auf dem Gebiet Zukunftstechnologien untersuchen wir die vielfältigen Eigenschaften von Materialien. Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen schaffen wir Grundlagen für neue Anwendungen – sei es in der Medizin, der Informationstechnologie, der Energiegewinnung und -speicherung – oder für neue Produktionsverfahren der Industrie. Ziel der Arbeiten im Schwerpunkt Energie und Klima ist die Entwicklung neuer Technologien für eine nachhaltige und sichere Energieversorgung sowie für eine saubere Umwelt. Ausserdem erforschen wir in diesem Bereich Zusammenhänge innerhalb des Klimasystems der Erde. Im Schwerpunkt Health Innovation suchen Forschende nach den Ursachen von Krankheiten und nach möglichen Behandlungsmethoden. Zudem betreiben wir in der Schweiz die einzige Anlage zur Therapie von spezifischen Krebserkrankungen mit Protonen. Dieses besondere Verfahren macht es möglich, Tumore gezielt zu zerstören und dabei das umliegende Gewebe weitgehend unbeschädigt zu lassen.

Im Schwerpunkt Grundlagen der Natur suchen Forschende nach Antworten auf die fundamentale Frage nach den Grundstrukturen der Materie und den Funktionsprinzipien in der Natur. Sie untersuchen Aufbau und Eigenschaften der Elementarteilchen – der kleinsten Bausteine der Materie – oder klären grundlegende Vorgänge in lebenden Organismen auf. Das so gewonnene Wissen eröffnet neue Lösungsansätze in Wissenschaft, Medizin oder Technologie.

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 1/2023 (Januar 2023)
ISSN 2504-2262

Herausgeber
Paul Scherrer Institut
Forschungsstrasse 111
5232 Villigen PSI
Telefon +41 56 310 21 11
www.psi.ch

Redaktionsteam
Monika Blétry, Monika Gimmel, Martina Gröschl, Christian Heid, Dr. Laura Hennemann, Sebastian Jutzi (Ltg.), Benjamin A. Senn, Dr. Mirjam van Daalen

Design und Art Direction
Studio HübnerBraun

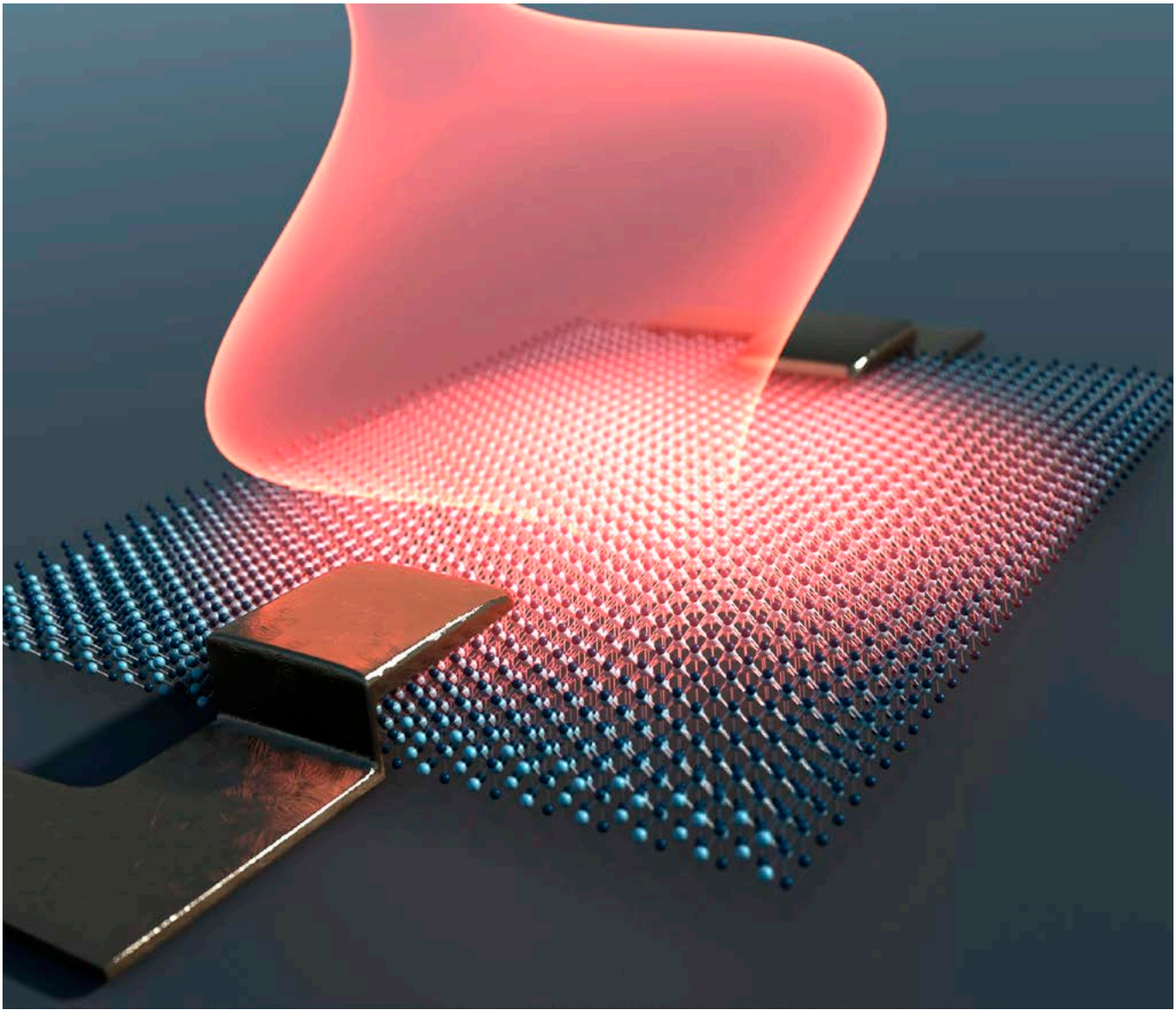
Fotos
Scanderbeg Sauer Photography, ausser:
Seiten 22/23, 38:
Paul Scherrer Institut/Markus Fischer;
Seiten 35–37: Jürg Waldmeier.

Illustrationen und Grafiken
Studio HübnerBraun, ausser: Seiten 6/7: Daniela Leitner;
Seite 25: Paul Scherrer Institut/ Mahir Dzambegovic;
Seiten 26/27: Dinghua Yang;
Seite 41: Alberto de la Torre, Dante Kennes, Martin Claassen, Simon Gerber, James McIver, Michael Sentef.

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

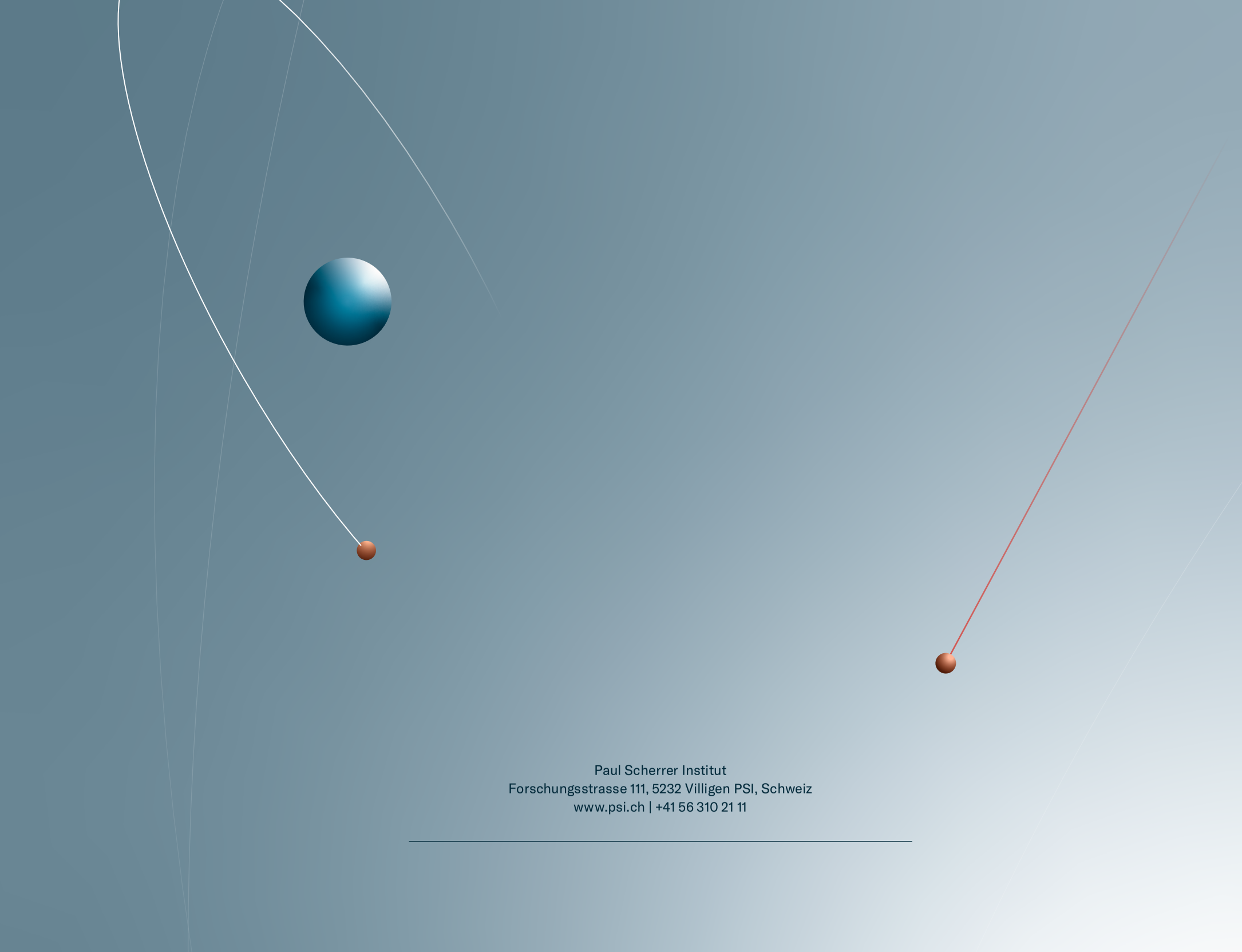
5232 steht im Internet zur Verfügung und kann kostenlos abonniert werden unter www.psi.ch/de/5232

5232 ist auch auf Englisch und Französisch erhältlich
www.psi.ch/fr/5232
www.psi.ch/en/5232



Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

Seit Menschen lernten, das Feuer zu beherrschen und Faustkeile zu nutzen, arbeiten sie immer weiter daran, Technik und Technologien zu verbessern. Fortschritt lässt sich dabei oft nur dann erzielen, wenn es gelingt, die Materialien zu verbessern, die dafür notwendig sind. Die Grundlage dafür liefert genaues Wissen über deren Eigenschaften. Forschende des PSI erkunden deshalb, wie sich die Bausteine der Materialien verhalten, wie sie sich neu kombinieren oder mit welchen Verfahren sich ganz neue Werkstoffe erzeugen lassen. Daraus resultieren dann beispielsweise bessere Energiespeicher, neuartige Materialien für die Konstruktion von Quantencomputern oder effektivere Produktionsverfahren.



Paul Scherrer Institut
Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen PSI, Schweiz
www.psi.ch | +41 56 310 21 11