

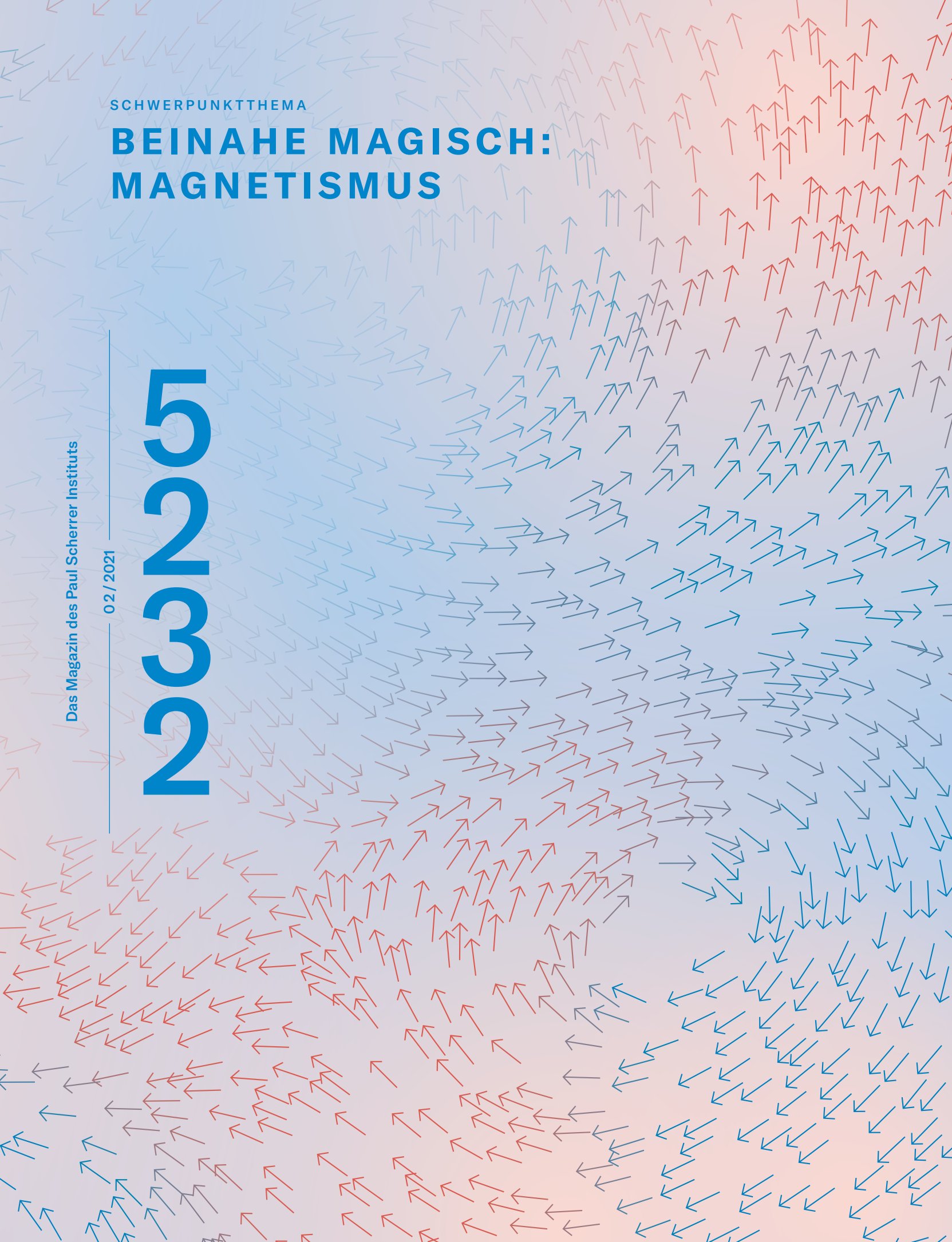
SCHWERPUNKTTHEMA

BEINAHE MAGISCH: MAGNETISMUS

Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

02 / 2021

2325



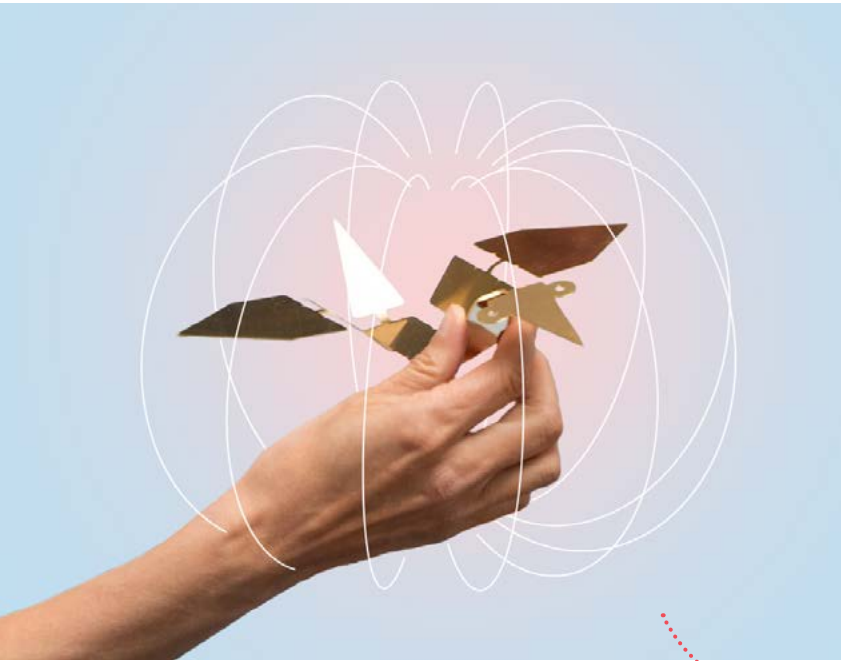
SCHWERPUNKTTHEMA BEINAHE MAGISCH: MAGNETISMUS

HINTERGRUND

Magische Kraft mit grosser Wirkung

Am PSI arbeiten Forschende daran, die letzten Geheimnisse des Magnetismus zu entschlüsseln. Dabei nutzen sie Magnete, um Elektronen und Protonen in den Grossforschungsanlagen zu beschleunigen. Das ermöglicht wiederum, Nanoroboter oder Materialien mit Formgedächtnis zu entwickeln oder magnetische Wirbel für den Einsatz in der Elektronik zu erforschen.

Seite 10



1

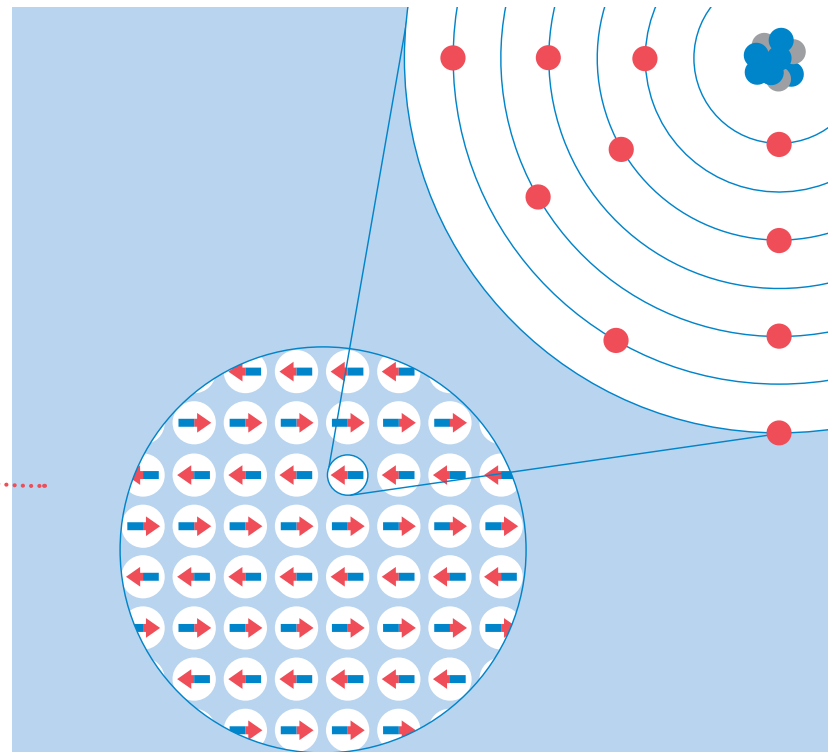
INFOGRAFIK

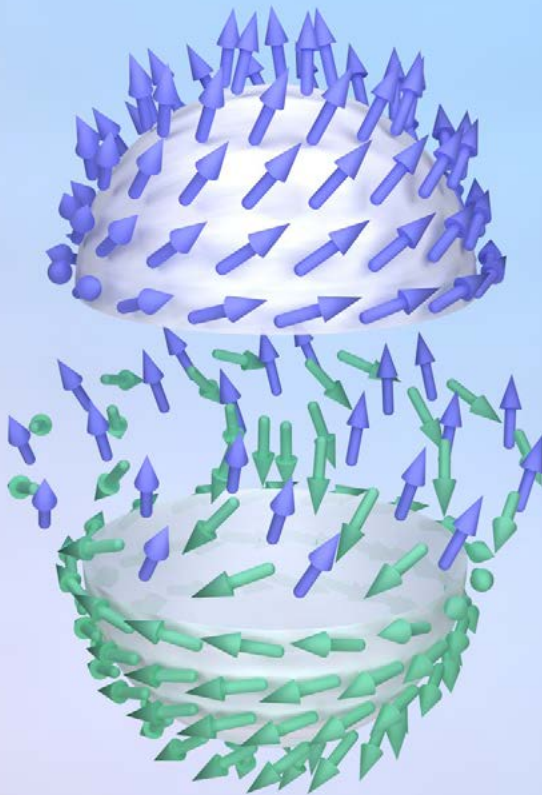
Magnetismus

Was macht Materialien magnetisch?
Was sind Domänen? Was zeichnet Ferro-,
Ferri- und Antiferromagnetismus aus?
Die Grafik erklärt anschaulich, was es mit
Magnetismus auf sich hat.

Seite 16

2





3

REPORTAGE

Magnetische Nanowelt

Ein tiefer Blick in die Materie liefert überraschende Erkenntnisse zum Magnetismus. Forschende erklären, wie Skyrmionen oder frustrierte Magnete beispielsweise die Informationstechnologie von morgen besser machen könnten.

Seite 18

INHALT

NACHGEFRAGT	
Was machen Sie da, Herr Rüegg?	4
ALLTAG	
Hässlich und lästig	6
FORSCHUNG	
Schön und nützlich	7
SCHWERPUNKTTHEMA	
BEINAHE MAGISCH: MAGNETISMUS	8
HINTERGRUND	
Magische Kraft mit grosser Wirkung	10
INFOGRAFIK	
Magnetismus	16
REPORTAGE	
Magnetische Nanowelt	18
IM BILD	
Effizientere Elektrolyseure	21
IN DER SCHWEIZ	
Der Corona-Dunkelziffer auf der Spur	22
Mit Proteinen made in Villigen untersucht das Universitätsspital Zürich, wie viele Menschen sich in der Schweiz tatsächlich mit Sars-CoV-2 infiziert haben.	
IN KÜRZE	
Aktuelles aus der PSI-Forschung	26
1 Gesundheitsrisiko Feinstaub	
2 Heliumkern genau vermessen	
3 Bessere Quantenbits	
4 Tresor gegen Magnetismus	
GALERIE	
Das PSI bei Nacht	28
Bilder von einem Nachtspaziergang über das PSI-Gelände zeigen das Institut in einem nicht alltäglichen Licht.	
ZUR PERSON	
«Die Versprechen halten, die wir uns selbst geben»	34
Vaida Auzelyte hat in Lausanne ein Start-up gegründet, das Kunststoffprodukte mit Hologrammen versieht. Die litauische Physikerin profitiert dabei bis heute von ihren Erfahrungen am PSI.	
WIR ÜBER UNS	38
IMPRESSUM	40
AUSBLICK	41

Herr Rüegg, Magnetismus ist etwas, das eigentlich jeder schon einmal in seinem Alltag erlebt hat. Aber was hat dieses beinahe magische Phänomen mit dem PSI zu tun?

Magnetismus ist ein hervorragendes Beispiel dafür, wie Phänomene der Physik alles durchdringen, vom Alltag bis zur Grundlagenforschung. Der Magnetismus, den man aus dem Alltag zum Beispiel von Verschlüssen von Handy-Etuis oder Handtaschen, oder von Kinderspielzeug kennt, beruht auf denselben Grundlagen, die wir für unsere Forschung nutzen. Das PSI ist ein Paradebeispiel für die Forschung an und mit Magnetismus, denn ohne ihn könnten wir unsere Grossforschungsanlagen nicht betreiben. So nutzen alle unsere Teilchenbeschleuniger Magnete, um Protonen oder Elektronen zu beschleunigen oder auf bestimmte Bahnen zu lenken. Für den Upgrade der SLS entwickeln wir gerade komplett neue Magnete basierend auf stark magnetischen Materialien.

Mithilfe der Teilchenbeschleuniger betreibt das PSI dann Forschung – unter anderem zum Magnetismus.

Richtig. Wir nutzen den Magnetismus für die Forschung und erforschen andererseits den Magnetismus selbst. Beispielsweise nutzen wir Neutronen, die zu den Grundbausteinen von Atomkernen gehören. Sie besitzen ein magnetisches Moment, verhalten sich also quasi wie eine Kompassnadel. Wenn wir diese winzigen Teilchen durch ein Material schiessen, dann werden sie auf ihrem Weg durch die magnetischen Eigenschaften der Atome des Materials beeinflusst. Das können wir messen und so auf die Eigenschaften des Materials schliessen – und das, ohne die Probe zu beeinflussen oder zu zerstören. Das tun wir hier an der SINQ, zu der auch das Spektrometer CAMEA gehört, an dem ich stehe, das wir zusammen mit der EPFL gebaut haben und mit dem ich selbst forsche. In vielen Experimenten erforschen wir den Magnetismus selbst, zum Beispiel, wenn wir mit der SLS im Bereich weniger Nanometer, also weniger Milliardstelmeter, die Vorgänge in einem Magneten beobachten und damit besser verstehen, wie Magnetismus überhaupt zustande kommt und wie man ihn kontrollieren kann. Mit diesem Wissen hoffen wir, beispielsweise Elektronik und Informationstechnologie in Zukunft noch leistungsfähiger machen zu können.

Gibt es auch Bereiche, bei denen Magnetismus stört?

Solche Forschung betreiben wir auch. So stört Magnetismus beispielsweise bei der Suche nach dem elektrischen Dipolmoment der bereits erwähnten Neutronen. Bislang wurde ein solches noch nirgendwo gemessen. Wenn wir dieses Dipolmoment nachweisen könnten, dann wäre das ein Hinweis auf ein Problem im bekannten Standardmodell der Teilchenphysik und würde neue Erkenntnisse dazu liefern, was ganz am Anfang bei der Entstehung unseres Universums passiert ist. Wir arbeiten derzeit an einem sehr empfindlichen Experiment dazu, das durch äussere magnetische Einflüsse gestört würde. Am PSI werden wir deshalb bis Ende dieses Jahres einen Raum gebaut haben, der in seiner Grösse der am besten magnetisch abgeschirmte Raum der Welt ist. Und dann können wir damit beginnen, die Geräte und Sensoren für das Experiment zu installieren. Diese sind so empfindlich, dass man das magnetische Signal eines Lastwagens detektieren kann, der in zwei Kilometer Entfernung am PSI vorbeifährt.

Was machen Sie da, Herr Rüegg?

NACHGEFRAGT

Wenn man das PSI besucht, denkt man zunächst nicht an Magnetismus. Doch ohne dieses physikalische Phänomen gäbe es das Institut gar nicht. Direktor Christian Rüegg erklärt, weshalb das so ist und weshalb Magnetismus trotzdem manchmal stört.

Hässlich und lästig

Wer kennt das nicht? Schon wieder sind die Badarmaturen verkrustet – dabei liegt die letzte Reinigung noch gar nicht so lange zurück. Auch den Boden und die Wände des Wasserkochers bedeckt eine dicke weisse Schicht.

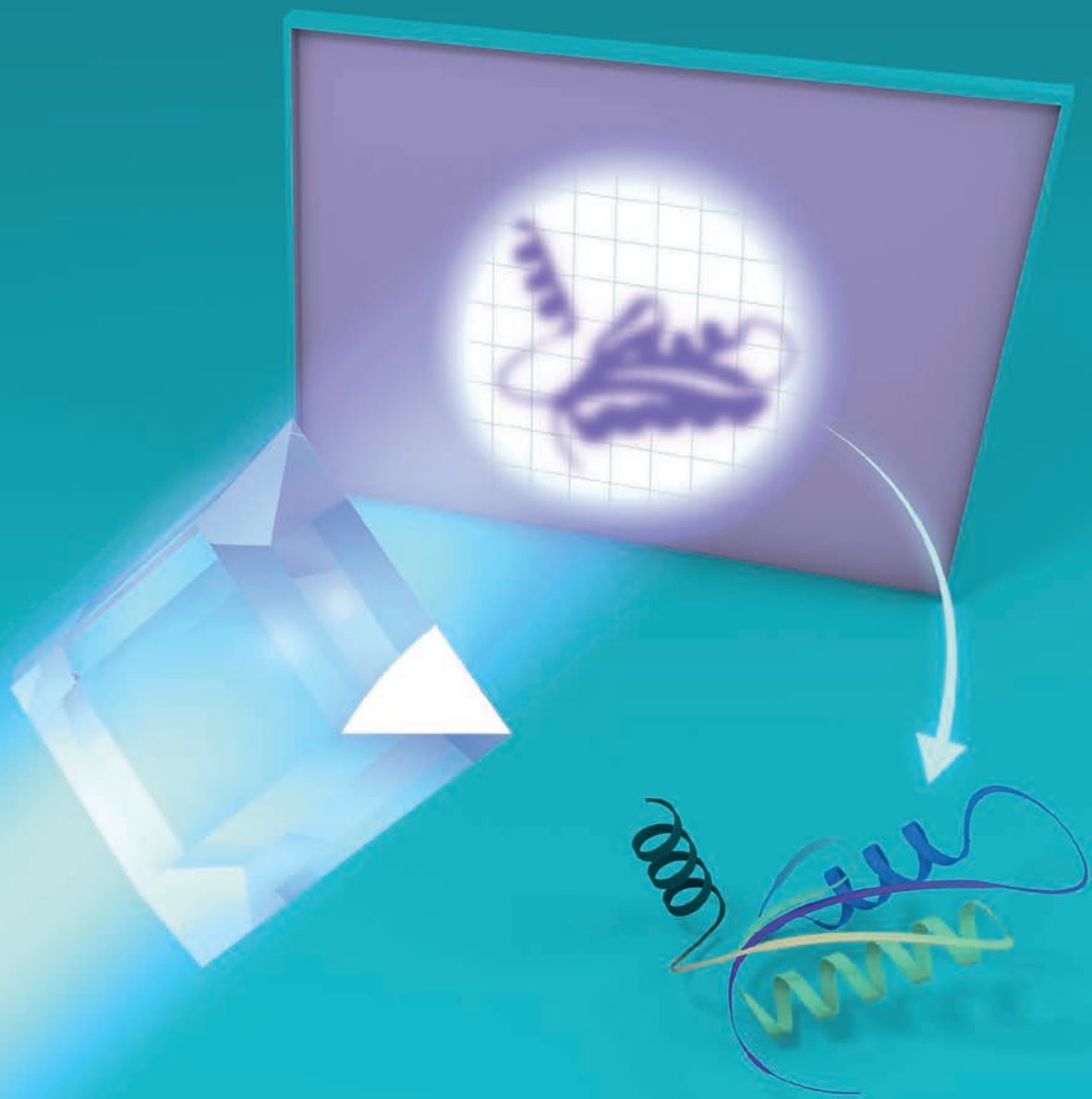
Dieser hartnäckige Kalk, der sich da scheinbar aus dem Nichts niederschlägt, ist eine Mischung aus Kalzium- und Magnesiumkarbonat. Diese Salze bilden erst kleine, dann immer grössere Kristalle. Sie setzen sich als weisser Feststoff an den Wänden der Geräte und an den Badarmaturen ab.

Typisch für Kristalle ist, dass sich ihre Bausteine in einer sehr regelmässigen dreidimensionalen Struktur anordnen. Das ist in der Natur extrem häufig: Egal, ob Kochsalz, Zucker, Schnee, Metalle oder

eben Kalk – alle diese Substanzen bestehen aus Kristallen. Wenn sie auch nicht immer so hübsch anzusehen sind wie der Bergkristall im geologischen Museum.

Kalzium- und Magnesiumkarbonate entstehen, wenn Leitungswasser lange steht oder erhitzt wird. Dabei entweicht gelöstes Kohlendioxid aus dem Wasser. Als Folge wandelt sich das ursprünglich vorliegende Kalzium- und Magnesiumhydrogenkarbonat zu Karbonaten um. Hydrogenkarbonate sind löslich, Karbonate nicht – und diese Verbindungen setzen sich dann als unbeliebte weisse Kruste ab.





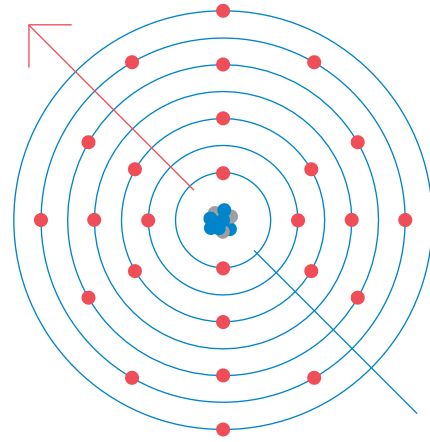
Schön und nützlich

Am PSI durchleuchten Forschende die Kristalle von Proteinen an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS mit Röntgenlicht. Beispielsweise auch die Proteine des neuartigen Coronavirus Sars-CoV-2. Aus dem entstehenden Beugungsmuster können sie auf den Aufbau der lebenswichtigen Biomoleküle zurückrechnen. Die Strukturen helfen beispielsweise dabei, neue Medikamente zu entwickeln.

Die Struktur der Proteine lässt sich aber nur dann ermitteln, wenn ein Kristall vorliegt. Sprich: Wenn sich die Proteinmoleküle in einem regelmäßigen dreidimensionalen Muster angeordnet haben. Und das ist nicht immer selbstverständlich. Was bei Kochsalz, Haushaltszucker und Kalk recht einfach und schnell funktioniert, braucht bei Proteinen viel

Überredungskunst. Denn sie sind komplexe Moleküle mit einer komplizierten dreidimensionalen Struktur. Nur sehr zögerlich ordnen sie sich zu regelmäßigen, immer noch recht lockeren Verbänden zusammen – einem Kristall eben.

Ein Patentrezept fürs Züchten der Proteinkristalle gibt es bis heute nicht. Der Erfolg beruht auf Versuch und Irrtum – und vor allem auf viel Erfahrung. In der Kristallproduktionsstätte des PSI unterstützen Expertinnen Forschende aus der ganzen Welt, aus «ihren» Proteinen wunderhübsche Kristalle zu zaubern, die sich für die Untersuchungen eignen.



HINTERGRUND
Magische Kraft mit
grosser Wirkung
Seite 10

1

2

INFOGRAFIK
Magnetismus
Seite 16

Beinahe magisch: Magnetismus

Ohne Magnete und Magnetismus wäre das PSI gar nicht denkbar, denn mithilfe der fast magisch wirkenden Kraft entschlüsseln Forschende die letzten Rätsel der Materie und dringen bis zum Ursprung unseres Universums vor.

REPORTAGE

Magnetische Nanowelt

Seite 18

3



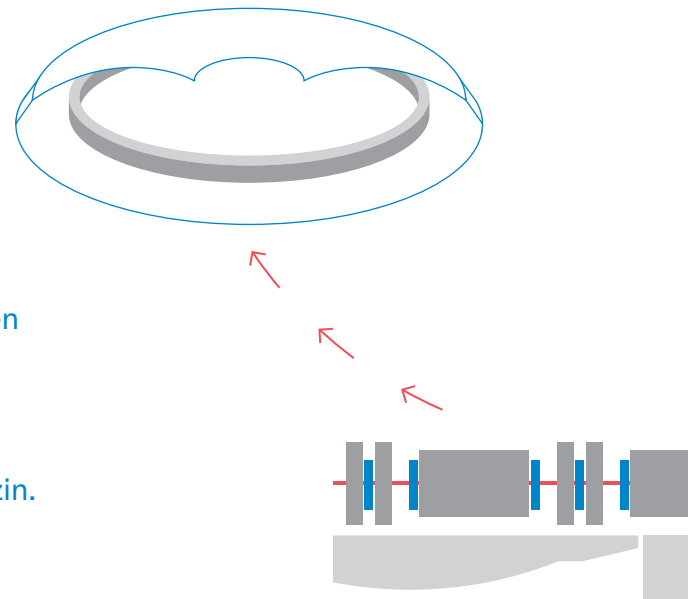
Mit einer einfachen 3-D-Magnetsonde lässt sich beispielsweise die Richtung eines Magnetfeldes um einen Stabmagneten, einen Draht oder eine Spule feststellen. In der Mitte der Sonde ist ein kleiner Magnet kardanisch aufgehängt, also an zwei sich schneidenden, zueinander rechtwinkligen Drehlagern. Er richtet sich in einem Magnetfeld entsprechend aus.

Die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS erhält ein Upgrade.

Magische Kraft mit grosser Wirkung

In Beschleunigern bringen starke Magnete Elementarteilchen auf Kurs und beliefern Experimentierstationen mit den benötigten Strahlen, um tief ins Innere von Materialien zu schauen. Mit dem damit gewonnenen Wissen entwickeln PSI-Forschende neue Anwendungen für Technik oder Medizin.

Text: Barbara Vonarburg



Mitten in einer grossen Werkhalle steht ein solider, 50 Zentimeter hoher Metallrahmen, montiert auf einem Betonblock. Es ist die Halterung, das sogenannte Joch, für einen neuen Magneten – einen Prototypen, der am PSI zusammengesetzt wird. «Wir füllen das Joch mit kleinen Blöcken von Permanentmagneten, wobei wir sehr vorsichtig sein müssen», sagt Stéphane Sanfilippo, Leiter der Sektion Magnete am PSI: «Die Kräfte, die hier wirken, sind enorm. Man kann sich schnell die Hand brechen.» Die Kraft, mit denen zwei dieser kleinen Magnete aneinanderkleben, entspricht einem Gewicht von 180 Kilogramm. Die Blöcke aus einer Legierung der Elemente Neodym, Eisen und Bor sind Teil des Designs, das PSI-Spezialisten am Computer entwickelt haben. Die Permanentmagnete gehören zu insgesamt fast 1000 Magneten, die für das Upgrade der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS gebaut werden. Der Teilchenbeschleuniger, der seit 2001 im grossen, Ufo-förmigen Gebäude in Villigen untergebracht ist, wird erneuert, um ab 2025 als SLS 2.0 noch besseres Röntgenlicht für die Forschung zu liefern. Ende des vergangenen Jahres gab der Schweizer Bundesrat grünes Licht für die Förderung dieses Projektes mit 99 Millionen Franken. Damit können neue Fragestellungen beispielsweise in der Biomolekül- oder der Materialforschung besser und vor allem schneller bearbeitet werden.

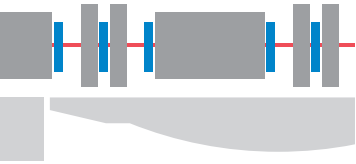
Starke Magnete stecken in jedem Teilchenbeschleuniger am PSI, sei es im weltweit stärksten Protonenbeschleuniger HIPA, der die Grossforschungsanlagen Schweizer Spallations-Neutronenquelle SINQ, Schweizer Myonenquelle μS und die Schweizer Forschungsinfrastruktur für Teilchenphysik CHRISP mit Protonen versorgt, sei es der

Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL, das COMET-Zyklotron für die Protonentherapie oder eben die SLS. In den Beschleunigern lenken normalerweise Elektromagnete die Teilchen auf ihre Bahn. Sie bestehen aus einer Spule aus aufgewickelm Kupferdraht. Fliesst Strom durch die Spule, bildet sich ein Magnetfeld. Der Vorteil der Elektromagnete: Im Gegensatz zu Permanentmagneten lassen sie sich ein- und ausschalten, und ihre Feldstärke kann durch den Stromfluss geregelt werden. Ein Teil der Magnete für die SLS 2.0 werden nach wie vor Elektromagnete sein wie in der ursprünglichen Maschine. «Es ist allerdings das erste Mal, dass wir für einen grossen Beschleuniger am PSI auch Permanentmagnete in Serie bauen», sagt Sanfilippo. «Dadurch können wir Platz sparen.» Denn die Permanentmagnete brauchen weder einen Stromanschluss noch Wasser, das bei Elektromagneten zur Kühlung dient. Zudem kann so der Stromverbrauch für die Magnetspeisungen der SLS 2.0 im Vergleich zur SLS massiv reduziert werden. Dank der Permanentmagnete lassen sich pro Betriebstag rund 10 000 Kilowattstunden oder 1000 Franken Stromkosten sparen. Das heisst, die SLS 2.0 wird im Betrieb «grüner».

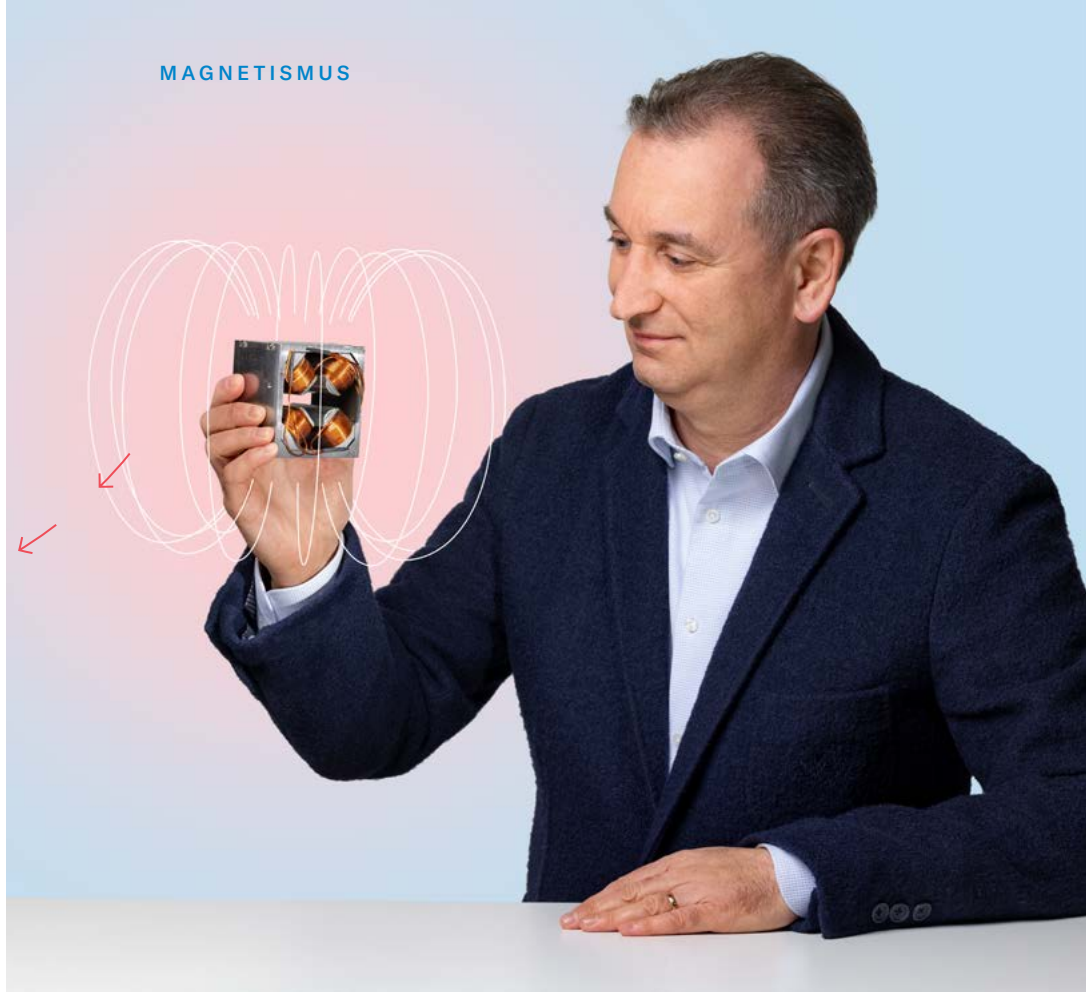
Entwickeln, bauen und testen

Im hinteren Teil der Werkhalle entwickelt Sanfilippos Team einen dritten Typ von Magneten, mit dem sich besonders starke Felder erzeugen lassen. Dabei wird supraleitendes Material eingesetzt. Dieses transportiert den Strom verlustfrei, muss dafür aber auf tiefste Temperaturen gekühlt werden. Kompakte, supraleitende Magnete werden nicht nur bei der

Stéphane Sanfilippo, Leiter Sektion Magnete, mit einem der Magnete, mit denen die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS aufgerüstet wird.



Ausschnitt des Elektronenspeicherrings der SLS, der neu mit Magneten bestückt wird.



SLS 2.0 zum Zuge kommen, sondern auch bei der Design-Studie für den grossen geplanten Beschleuniger «Future Circular Collider» (FCC) am europäischen Teilchenforschungszentrum CERN bei Genf. Im Rahmen des Schweizerischen Forschungsnetzwerks CHART (Swiss Accelerator Research and Technology) trägt das PSI zur Technologieentwicklung bei. «Wir bauen hier die Infrastruktur und das Wissen für die Entwicklung supraleitender Beschleunigermagnete auf», sagt Sanfilippo, «dabei nutzen wir die Synergien zwischen den Projekten für das PSI und das CERN.»

Auf der anderen Seite, abgetrennt vom Rest der Werkhalle, befindet sich ein Raum mit verschiedensten Installationen, die auf den ersten Blick exotisch anmuten. Eine Tafel warnt Leute mit einem Herzschrittmacher vor starken Magnetfeldern. «In diesem Zoo von Messgeräten testen wir sämtliche Magnete, sowohl die selbst hergestellten wie auch die von Firmen gelieferten Elektromagnete», erklärt Sanfilippo. Erst wenn die Magnete die Spezifikationen tatsächlich erfüllen, werden die Techniker sie in die SLS 2.0 einbauen.

Die vielen, kompakten Magnete im erneuerten Beschleuniger werden die Elektronen auf eine bessere Kreisbahn mit weicheren Kurven leiten als zuvor. So lässt sich die Qualität der Röntgenstrahlen, die jeweils bei einem Richtungswechsel der Elektronen erzeugt werden, um Grössenordnungen ver-

bessern. Darauf freut sich Valerio Scagnoli schon jetzt. Der erfahrene Wissenschaftler und sein Team nutzen die SLS, um magnetische Strukturen in Materialien im Kleinsten sichtbar zu machen und zwar in 3-D. «Heute benötigen wir für ein Experiment ein oder zwei Tage; in Zukunft werden wir zehn- oder gar hundertmal schneller sein», sagt Scagnoli. «Und dank des Upgrades wird sich die räumliche Auflösung der Bilder drastisch erhöhen.»

Ein Kompass, der nach Westen zeigt

Valerio Scagnoli ist Mitglied der Gruppe «Mesoskopische Systeme», einem gemeinsamen Labor von PSI und ETH Zürich, geleitet von Laura Heyderman. Unter «mesoskopisch» verstehen die Fachleute den Grössenbereich zwischen Millionstelmillimeter (Nanometer) und Tausendstelmillimeter (Mikrometer). Forschende aus Heydermans Gruppe entdeckten mithilfe der SLS eine besondere magnetische

«Die Kräfte, die hier wirken, sind enorm. Man kann sich schnell die Hand brechen.»

Stéphane Sanfilippo, Leiter der Sektion Magnete

Wechselwirkung auf der Ebene nanoskopischer Strukturen aus wenigen Atomschichten.

Magnete zeichnen sich üblicherweise dadurch aus, dass sie einen Nordpol und einen Südpol haben. Werden zwei Magnete nahe aneinandergelassen, ziehen sich deren entgegengesetzte Pole an und die gleichen stossen sich ab. Deshalb richten sich magnetische Nadeln, wie sie beispielsweise in einem Kompass vorkommen, im Erdmagnetfeld so aus, dass damit die Kardinalrichtungen Nord und Süd und daraus abgeleitet Ost und West bestimmt werden können. In der Welt, die wir jeden Tag mit unseren Sinnen erleben, ist diese Regel richtig. Wenn man jedoch die makroskopische Welt verlässt und in die Tiefen viel kleinerer Dimensionen eintaucht, ändert sich das.

Die Atome wirken dort wie winzige Kompassnadeln und entfalten ihre Wirkung über äusserst kurze Entfernungen im Nanometerbereich, also einige Millionstelmillimeter. Deshalb sprechen die Forschenden auch von Nanomagneten.

Das Phänomen, das die Forschenden des PSI beobachten konnten, basiert auf einer Wechselwir-

kung, die die beiden Physiker Igor Dzyaloshinskii und Toru Mariya vor mehr als 60 Jahren vorhergesagt haben. Bei dieser Wechselwirkung richten sich die Atomkompassnadeln nicht nur in Nord-Süd-Richtung, sondern auch in Ost-West-Richtung aus. Wohin sie zeigen, hängt davon ab, wie sich die Atome in ihrer Nachbarschaft orientieren. Wenn beispielsweise eine Gruppe von Atomen nach Norden zeigt, weist die benachbarte Gruppe immer nach Westen. Wenn eine Gruppe von Atomen nach Süden zeigt, dann orientieren sich die benachbarten Atome nach Osten.

Diese Orientierungen können durch Magnetfelder oder elektrische Ströme die Richtung ändern, das heisst von Nord nach Süd und umgekehrt. Die benachbarten Atomgruppen orientieren sich dann entsprechend neu, entweder von West nach Ost oder umgekehrt. Aussergewöhnlich dabei ist, dass sich diese Wechselwirkung lateral, also seitlich in einer Ebene abspielt. Bislang konnten vergleichbare Kopplungen zwischen Nanomagneten nur vertikal, also bei übereinander angeordneten Atomgruppen festgestellt werden. Mithilfe des neu

Laura Heyderman leitet das Labor für Mesoskopische Systeme und erforscht unter anderem, wie man mithilfe von Magnetismus intelligente Mikroroboter bauen oder Materialien mit Formgedächtnis entwickeln kann. Hier hält sie ein stark vergrössertes Modell des vogelartigen Mikroroboters, den sie mitentwickelt hat.



entdeckten Phänomens könnte es möglich sein, neue, effizientere Computerspeicher und -schalter zu bauen, was wiederum die Leistungsfähigkeit von Mikroprozessoren erhöhen würde.

Intelligente Mikroroboter

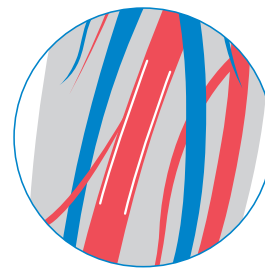
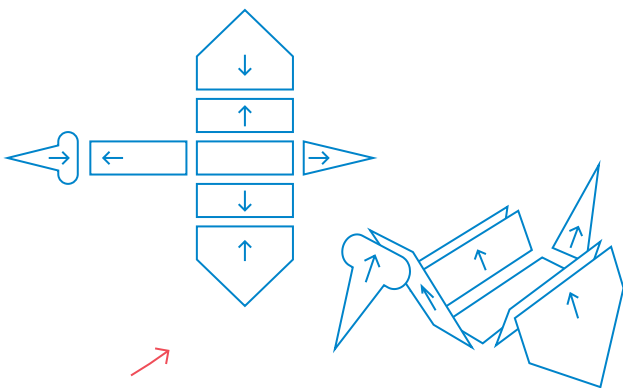
Ebenfalls in Heydermans Gruppe haben Forschende winzige, magnetische Systeme mit neuartigen Eigenschaften entwickelt. «Intelligente Mikroroboter könnten in Zukunft durch die Blutgefässe im menschlichen Körper navigieren und biomedizinische Aufgaben übernehmen», sagt Jizhai Cui, der als Postdoc vier Jahre in Heydermans Gruppe gearbeitet hat und jetzt an der chinesischen Fudan-Universität in Shanghai ein eigenes Forschungsteam aufbaut. Die winzigen Maschinen könnten beispielsweise gezielt Krebszellen töten.

Wie dies im Prinzip funktionieren soll, demonstrierten die Forschenden am PSI bereits anhand eines nur wenige Mikrometer grossen Roboters in Gestalt eines Vogels, der flattern, seinen Hals krümmen und zur Seite gleiten konnte. Auf dünnen Schichten von Siliziumnitrid hatten sie winzige Kobaltmagnete platziert. «Stattet man Mikroroboter mit Nanomagneten aus, können sie auf von aussen angelegte Magnetfelder reagieren wie ein Kompass», erklärt Cui: «Wie von einem Motor angetrieben, können sich die Mikroroboter so vorwärtsbewegen, wenn das Magnetfeld rotiert.» Nun gelte es in einem der nächsten Schritte, die Mikroroboter biologisch abbaubar zu machen, sagt der Forscher und meint: «Ich freue mich sehr auf eine Zusammenarbeit zwischen der Fudan-Universität und dem PSI.»

Ein weiteres Material mit erstaunlichen Eigenschaften entwickelten PSI-Forschende in Kooperation mit der ETH Zürich: einen Stoff mit Formgedächtnis. Zwingt man den Verbundstoff in eine bestimmte Form und setzt ihn dann einem Magnetfeld aus, so behält er diese Form bei. Erst wenn man das Magnetfeld entfernt, nimmt das Material wieder

seine ursprüngliche Form an. Bislang bestehen vergleichbare Materialien aus einem Polymer und eingelagerten Metallpartikeln. Die Forschenden des PSI und der ETH Zürich fügten stattdessen die magnetischen Partikel mithilfe von Tröpfchen aus Wasser und Glyzerin in das Polymer. Dadurch erzeugten sie eine Dispersion, ähnlich wie sie von Milch bekannt ist. In dem neuen Material verteilen sich die Tröpfchen der Flüssigkeit mit den magnetischen Partikeln ähnlich fein. «Da es sich bei der im Polymer dispergierten magnetisch empfindlichen Phase um eine Flüssigkeit handelt, sind die Kräfte, die beim Anlegen eines Magnetfeldes erzeugt werden, wesentlich grösser als bisher bekannt», erklärt Laura Heyderman. Wirkt ein Magnetfeld auf den Verbundstoff, versteift dieser.

Für formerinnernde Stoffe sind zahlreiche Anwendungen in Medizin, Raumfahrt, Elektronik oder Robotik denkbar. So könnten Katheter, die bei minimalinvasiven Operationen durch Blutgefässe zum Operationsort im Körper geschoben werden, ihre Steifigkeit verändern. Das bietet den Vorteil, dass sie nur dann fest werden müssen, wenn das benötigt wird, und sie deshalb – zum Beispiel beim Gleiten durch ein Blutgefäss – weniger Nebenwirkungen wie Thrombosen erzeugen. In der Raumfahrt sind formerinnernde Materialien als eine Art Reifen für Erkundungsfahrzeuge gefragt, die sich eigenständig aufblähen oder wieder zusammenfallen. In der Elektronik dienen weiche Funktionsmaterialien als flexible Strom- oder Datenleitungen, beispielsweise in sogenannten Wearables, also Geräten, die man in der Kleidung oder direkt am Körper trägt. Formgedächtnis eröffnet auch neue Möglichkeiten, beispielsweise können formerinnernde Materialien in der Robotik mechanische Bewegungen ohne einen Motor ausführen.



Mithilfe von magnetischen Feldern lassen sich Mikroroboter wie der Prototyp in Form eines Vogels programmieren und steuern. Die winzigen Helferlein könnten einst in der Blutbahn zu Gewebe schwimmen, das sie operieren sollen. Neue Materialien, deren Formgedächtnis mithilfe von Magnetismus an- oder abgeschaltet wird, könnten beispielsweise als sogenannte Stents Blutgefässe stabilisieren.

«Das Material, mit dem ich arbeite, ist sehr speziell.»

Marisa Medarde, Leiterin der Gruppe Physikalische Eigenschaften von Materialien

250 Tonnen schwere Kolosse

Gerade beim Thema Magnetismus sind die Sprünge über die verschiedenen Dimensionen von ultraklein bis gigantisch gross am PSI gewaltig. Das sieht man sofort, wenn man den Gebäudekomplex betritt, der gleich neben der Werkhalle liegt, in der das Team von Stéphane Sanfilippo die neuen Magnete für das Upgrade der SLS entwickelt. Dort befindet sich die älteste, noch voll funktionstüchtige, grosse Forschungsanlage des PSI – der Hochintensitäts-Protonenbeschleuniger HIPA. Die acht riesigen, türkisfarbenen Elektromagnete des Ringbeschleunigers wiegen je 250 Tonnen und stammen aus dem Jahr 1974. «Der Unterhalt dieser sowie sämtlicher anderer Magnete in den Beschleunigern und den Labors am PSI zählt ebenfalls zu unseren Aufgaben», sagt Sanfilippo: «Unser Ziel ist es, Stillstandzeiten möglichst kurz zu halten.»

Elektrobleche optimal schneiden

Die Protonen aus HIPA treffen unter anderem in der Spallations-Neutronenquelle SINQ auf einen Bleiblock und schlagen dabei Neutronen aus den Atomkernen. «Neutronen können die Materie leicht durchdringen und eignen sich deshalb gut, um ins Innere von Materialien zu schauen», erklärt Markus Strobl, Leiter der Gruppe Angewandte Materialien am PSI und Professor an der Universität Kopenhagen: «Und obwohl die Neutronen elektrisch neutral sind, haben sie ein magnetisches Moment und wechselwirken mit Magnetfeldern.» So lassen sich in einem Material die Bereiche oder Domänen sichtbar machen, in denen die Magnetisierung in einer gleichmässigen Richtung erfolgt, zum Beispiel in sogenannten elektrischen Stählen, die für Elektromotoren, Generatoren und Transformatoren verwendet werden – ein Produkt mit grossem Marktanteil.

«Das Design der magnetischen Domänen in diesen Stählen ist wichtig für die Effizienz der Maschinen», sagt Strobl. Abbildungen des Materialinnern zeigten, dass das Zuschneiden von Elektroblechen die magnetischen Eigenschaften an den Rändern negativ beeinflusst. «Wir haben dann im Auftrag

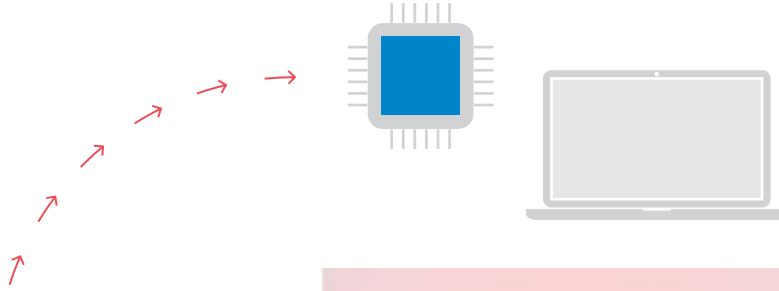
einer österreichischen Firma untersucht, wie man die Schneidetechnik verbessern und damit Energieverluste vermeiden kann», sagt Strobl. Die Studien an den Elektrostählen sollen jetzt in Zusammenarbeit mit der deutschen Fraunhofer-Gesellschaft weitergeführt werden.

Kleine Spiralen mit grossem Potenzial

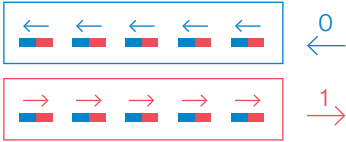
Die Abbildungen von Strobl und seiner Gruppe haben eine Auflösung von Tausendstel Millimeter bis Zentimeter. Die Längenskala, für die sich Marisa Medarde interessiert, liegt im Bereich von Millionstel Millimeter, der Grössenordnung von Atomen. «Das Material, mit dem ich arbeite, ist sehr speziell», sagt die Leiterin der Gruppe Physikalische Eigenschaften von Materialien. Es enthält winzige Magnete, die sich spiralförmig anordnen. Mithilfe der Neutronen an der SINQ lassen sich diese Spiralen nachweisen. Forschende vermuten, dass damit eine besonders wünschenswerte Eigenschaft einhergeht: Die Magnetisierung des Materials lässt sich durch ein elektrisches Feld steuern, was viel einfacher und energiesparender ist, als wenn man dazu ein magnetisches Feld benötigt.

Solche Materialien gelten deshalb als Kandidaten für künftige Datenspeicher. Medardes Material mit der chemischen Formel YBaCuFeO_5 ist besonders vielversprechend. Denn bisher wurden solche magnetischen Spiralen nur bei extrem tiefen Temperaturen nachgewiesen. «Unsere Spiralen existieren bei Raumtemperatur», sagt die Forscherin. «Zudem kann man sie relativ einfach verändern, was völlig unerwartet ist.» Ihr Trick: Sie heizt das Material zuerst auf über 1000 Grad auf und wirft es dann direkt in fast minus 200 Grad kalten, flüssigen Stickstoff. In einem nächsten Schritt will Medarde mit ihrem Team zeigen, dass das Material tatsächlich die erhofften Eigenschaften hat. Vom Einsatz derartiger multiferroischer Materialien verspricht man sich energiesparendere Computer.

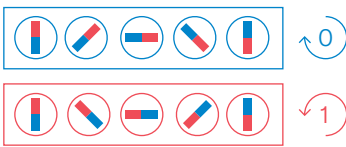
So verbindet die beinahe magisch anmutende Kraft des Magnetismus sehr viele Forschungsarbeiten am PSI – gleichgültig, ob sie sich mit den Strukturen in Computern beschäftigen oder mit neuartigen Materialien für Medizin und Technik oder mit den riesigen Anlagen, die winzige Teilchen beschleunigen. ◆



Ferromagnetisches Bit



Spiral-Bit

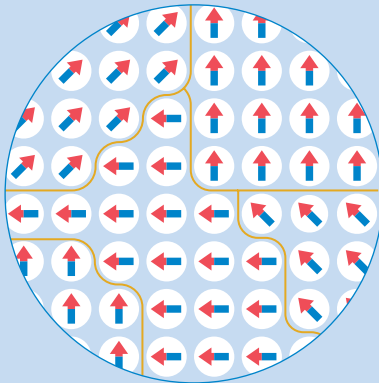
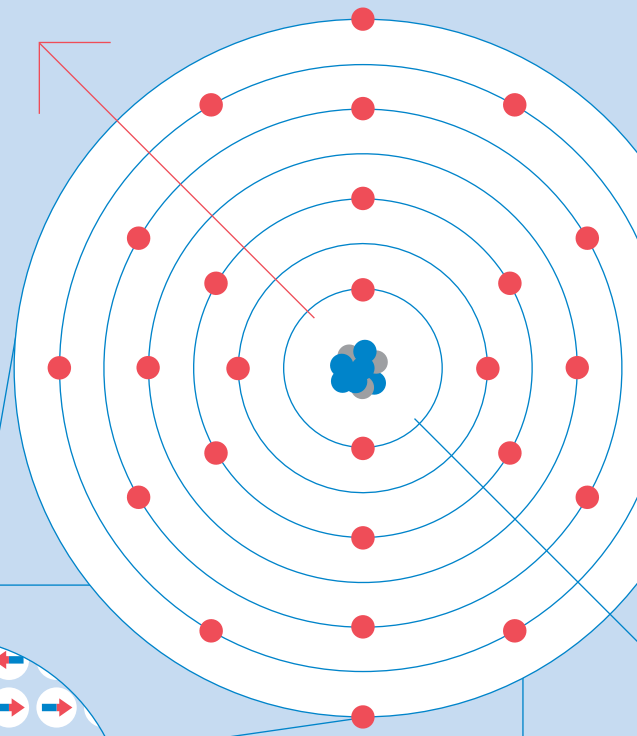


Marisa Medarde, Leiterin der Gruppe Physikalische Eigenschaften von Materialien, erforscht winzige Magnete in speziellen Materialien, die sich spiralförmig anordnen. Dabei heizt sie das Material zuerst in einem Spezialofen auf über 1000 Grad Celsius auf und wirft es dann direkt in fast minus 200 Grad kalten, flüssigen Stickstoff, den ein Kollege schon bereithält.



Magnetismus

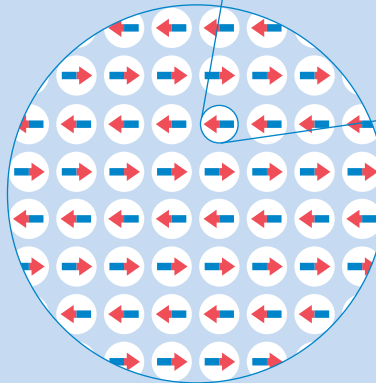
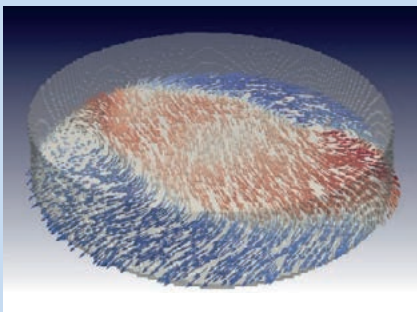
Die aus dem Alltag bekannten magnetischen Felder entstehen entweder durch Elementarmagnete in magnetischen Materialien oder durch elektrischen Strom. Verbreitete Anwendungen davon sind Haftmagnete, Elektromagnete oder die Magnetresonanztomografie in Medizin und Forschung.



Domänen

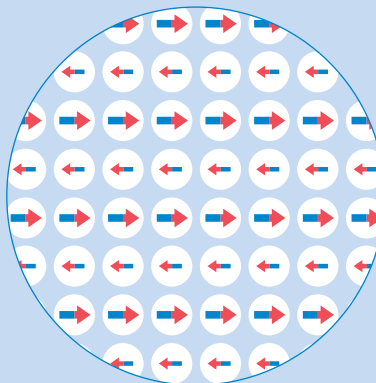
Elementarmagnete tendieren dazu, sich zumindest in bestimmten Bereichen gleichförmig auszurichten. Solche Bereiche heißen Domänen. Die Domänengrenzen sind hier gelb eingezeichnet.

Am PSI konnten Forscher die Wirbel, die an den Domänengrenzen auftreten, in einer Art 3-D-Film aufnehmen. Der Ausschnitt zeigt ein Bild daraus. Die Domäne, hier durch rote Pfeile eingezeichnet, erstreckt sich nur über wenige Nanometer.



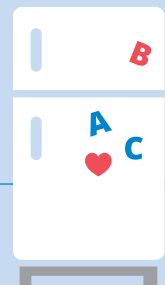
Antiferromagnetismus

Im einfachsten Fall sind beim Antiferromagneten zwei verschiedene Untergitter aus Elementarmagneten antiparallel ausgerichtet, deren magnetische Momente sich gegenseitig aufheben. Solche Materialien weisen kein externes permanentes magnetisches Moment auf. Sind die magnetischen Momente der gegenläufig ausgerichteten Untergitter ungleich stark, so kann es zum Ferrimagnetismus kommen. Nach aussen wirkt eine magnetische Kraft, aber schwächer als beim Ferromagnetismus.



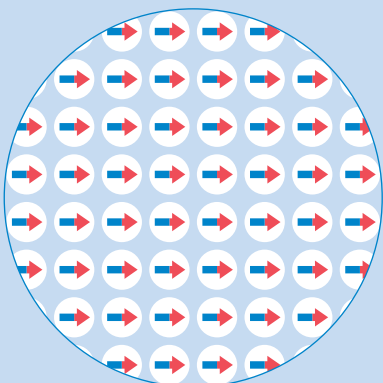
Ferrimagnetismus

Ferrimagnetische Materialien werden beispielsweise bei Haftmagneten für Kühlschranksicker genutzt.



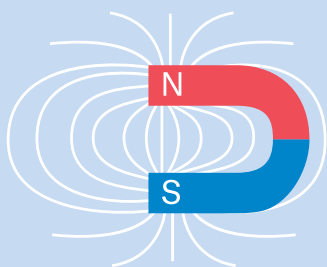
Elementarmagnet

Zum Beispiel: ein Eisenatom



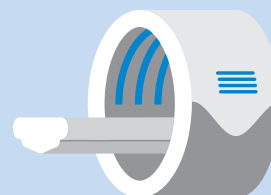
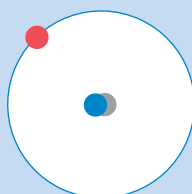
Ferromagnetismus

Die einzelnen Elementarmagnete richten sich gleichförmig aus. Das kann beispielsweise durch ein äusseres Magnetfeld ausgelöst werden.



Das magnetisierte Material bleibt in diesem Zustand und wird zu einem Dauermagneten.

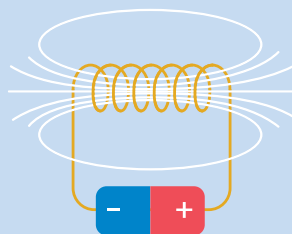
Magnetresonanztomografie



Jeder Atomkern besitzt einen sogenannten Spin, eine Art Drehimpuls, der sich aus der Summe der Spins der Kernbausteine ergibt. Daraus folgt ein magnetisches Moment.

Bei der Magnetresonanztomografie nutzt man das magnetische Moment mancher Atomkerne, zum Beispiel das des Wasserstoffs. Dadurch sind hochauflösende Abbildungen organischen Gewebes möglich.

Elektromagnetismus



Elektromagnete:
Eine stromdurchflossene Spule erzeugt das Magnetfeld.

Elektromagnete besitzen den Vorteil, dass sie über den elektrischen Strom einfach an- und abgeschaltet werden können und ihre Stärke über die Stromstärke regulierbar ist. Der stärkste, dauerhaft arbeitende Magnet ist ein Elektromagnet.

Magnetische Nanowelt

Am PSI untersuchen Forschende den Magnetismus im Bereich von Millionstel Millimeter. Dabei stossen sie auf exotische Phänomene wie frustrierte Magnete und Nanowirbel, mit denen vielleicht dereinst Daten besser gespeichert werden können.

Autor: Barbara Vonarburg

Woher stammt die scheinbar magische Kraft, die den Magneten am Kühlschrank festhält? Um diese Frage zu beantworten, muss man tief in die Materie hineinblicken. «Stellen Sie sich ein Atom vor mit den Elektronen, die den Kern umkreisen», sagt Frithjof Nolting, Leiter des PSI-Labors für kondensierte Materie und Professor an der Universität Basel. «Dieses klassische Bild ist streng wissenschaftlich betrachtet zwar falsch, aber als Gedankenstütze äusserst hilfreich.» Denn es sind die Elektronen, die ein Magnetfeld produzieren. Die elektrisch geladenen Teilchen bewegen sich auf ihrer Bahn um den Atomkern und haben zusätzlich einen Eigendrehimpuls, genannt Spin. Diese beiden Komponenten erzeugen ein magnetisches Moment, das man sich vereinfacht als kleinen Stabmagneten vorstellen kann.

«Damit ein Material nach aussen magnetisch wird, müssen sich die magnetischen Momente der einzelnen Atome alle in die gleiche Richtung orientieren – ein sehr komplizierter Mechanismus», erklärt Nolting. Sind die magnetischen Momente tatsächlich alle gleich ausgerichtet, spricht man von Ferromagnetismus, zeigen benachbarte magnetische Momente in entgegengesetzte Richtung, ist das Material antiferromagnetisch und gegen aussen nicht magnetisch. Bereiche, in denen sich die magnetischen Momente aller Atome gleich ausrichten, heissen Domänen, dazwischen gibt es jeweils eine Domänenwand.

Bei der magnetischen Datenspeicherung auf Festplatten werden die Informationsbits in Form von Domänen in dünnen Schichten gespeichert. Ein Elektromagnet als Schreibkopf ändert jeweils die Magnetisierungsrichtung. Nolting und seine Forschungsgruppe fanden heraus, wie man auf dieses Magnetfeld zum Schreiben verzichten könnte: Die Magnetisierungsrichtung von kleinen Strukturen lässt sich auch durch einen Laserpuls gezielt schalten. Dieser Prozess wäre viel schneller als derjenige mithilfe eines Elektromagneten und würde auch

noch weniger Energie verbrauchen – ein spannendes Feld für zukünftige Untersuchungen am SwissFEL. Eine Anwendung dieser neuen Methode liege aber noch in weiter Ferne, warnt der Physiker. Ihn interessieren vor allem die grundlegenden Erkenntnisse, die man beim Vordringen in die Nanowelt, also in die Dimension von Millionstel Millimeter, gewinnen kann. «Dort kommt es zu exotischen Phänomenen, die zu lustigen Eigenschaften dieser Nanomagnete führen.»

Frustrierte Magnete

Ein Beispiel sind die frustrierten Magnete. Der spontane Gedanke, dass es bei der Übertragung eines menschlichen Gemütszustandes in die physikalische Welt darum geht, dass ein angestrebter Zustand nicht erreicht werden kann, ist nicht falsch. Doch was die Fachleute wirklich darunter verstehen, ist nicht einfach zu erklären. Frithjof Nolting nimmt seine Hände zu Hilfe und deutet mit dem rechten Zeigfinger nach oben, mit dem linken nach unten. «Angenommen die magnetischen Momente in einem Material sollen antiparallel ausgerichtet sein», erklärt er: «Das funktioniert mit zwei Elementen, wie man hier sieht. Doch wenn dazwischen in der Mitte ein drittes dazu kommt, weiss es nicht, wo es hinzeigen soll; es ist frustriert.»

Frustrierte Magnete sind das Spezialgebiet von Oksana Zaharko, Leiterin der Forschungsgruppe für Festkörperstrukturen am PSI. Sie führt den Vergleich mit den drei Elementen weiter: «Wir haben ein System, in dem sich zwei starke Kräfte bekämpfen. Und wenn zwei Grosse Krieg führen, dann profitiert der kleine Dritte. Genau das passiert in frustrierten Systemen.» Zaharkos System ist ein winziger Kristall – ein hübsches, metallisches Oktaeder, das vom blossen Auge noch knapp erfasst werden kann, geformt aus den Elementen Mangan, Scandium und Schwefel. Weil in diesem antiferromagnetischen Kristall die Ausrichtungen

«Wir haben ein System, in dem sich zwei starke Kräfte bekämpfen.»

Oksana Zaharko, Leiterin der Forschungsgruppe für Festkörperstrukturen

der magnetischen Momente miteinander streiten, entsteht eine Richtungsabhängigkeit, eine sogenannte Anisotropie. «Sie ist unsere lachende Dritte», erklärt Zaharko. Die Anisotropie bewirkt, dass sich in der Ausrichtung der magnetischen Momente winzige Wirbel bilden.

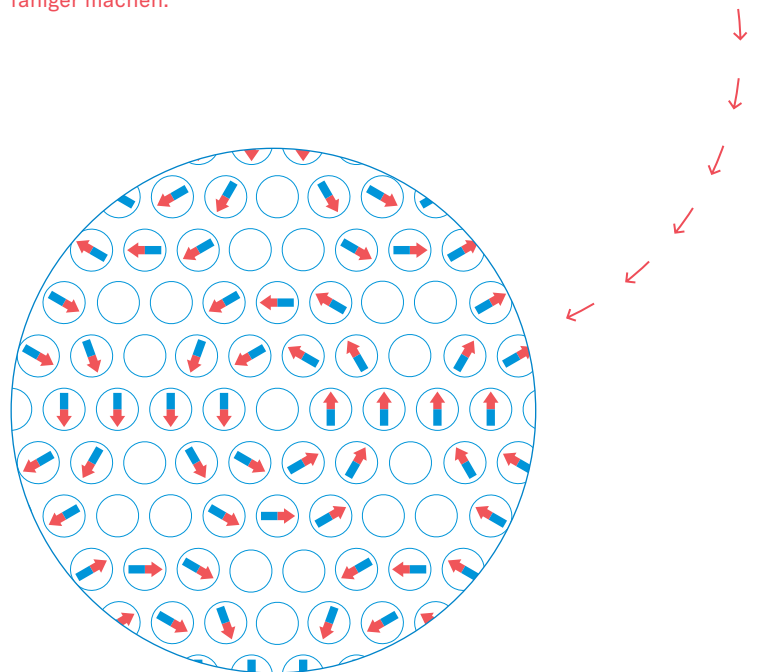
Winzige Wirbel

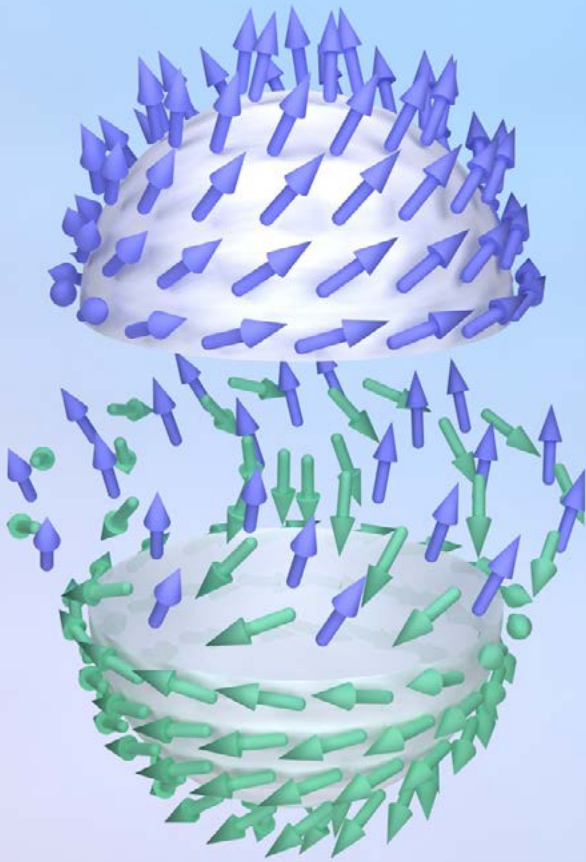
Diese wundersamen Nanostrukturen sind das Resultat der Frustration und haben einen entsprechend exotischen Namen: Skyrmionen. «In der Wissenschaft verbreiten sich manche Ideen wie ein Virus – allerdings ein gutmütiges», sagt die Physikerin: «Mit den Skyrmionen ist dies so; es wird weltweit intensiv auf diesem Gebiet geforscht und auch ich habe mich anstecken lassen von der Begeisterung für diese Objekte mit ihren interessanten Eigenschaften.» Mit ihrem Kristall gelang es Zaharko und ihrer Gruppe 2020, erstmals antiferromagnetische Skyrmionen zu erschaffen und nachzuweisen – ein wichtiger Schritt für mögliche, künftige Anwendungen dieser Nanowirbel in der Informationstechnologie.

Skyrmionen gelten als vielversprechende Einheiten für eine neuartige Datenspeicherung. Sie sind bedeutend kleiner als die Domänen, die in herkömmlichen Speichermedien als Bits dienen. Damit könnte man die Daten enger packen sowie schneller schreiben und lesen. «Unsere Skyrmionen sind winzig und erfüllen diese Anforderung besonders gut», sagt Zaharko. Zudem sind die neu entdeckten Nanowirbel – wie der Kristall selber – antiferromagnetisch. Das heisst, benachbarte magnetische Momente sind so ausgerichtet, dass einer nach oben und der nächste nach unten zeigt, während die Momente bei den bisher bekannten Skyrmionen parallel sind. «Antiferromagnetische Skyrmionen lassen sich einfacher steuern, weil sie beim Anlegen von Strom weniger von ihrem geraden Weg abgelenkt werden als ferromagnetische Skyrmionen», erklärt



Oksana Zaharko erforscht am PSI frustrierte Systeme und Skyrmionen. Sie nutzt dabei die unterschiedliche magnetische Ausrichtung von Elementarmagneten. Was sich kryptisch anhört, könnte einmal Computer wesentlich leistungsfähiger machen.





Skyrmionen sind Nanostrukturen: winzige Wirbel in der magnetischen Ausrichtung der Atome. PSI-Forschende haben erstmals sogenannte antiferromagnetische Skyrmionen erschaffen. Darin sind entscheidende Spins gegenläufig ausgerichtet. Hier eine künstlerische Darstellung dieses Zustands.

die Forscherin: «Das ist sehr nützlich, wenn man damit ein Produkt herstellen möchte.»

Noch ist dies Zukunftsmusik. Denn damit die winzigen Wirbel entstehen, müssen die Forschenden ihren Kristall bis fast zum absoluten Nullpunkt abkühlen und in ein sehr starkes Magnetfeld bringen. «Wir haben eine millimeterkleine Probe und darum herum eine riesige Apparatur mit einem tonnenschweren Magneten – ein unglaublicher Gegensatz», beschreibt Zaharko die Messstelle an der Grossforschungsanlage SINQ. Hier werden Neutronen auf den Kristall geschossen und gestreut. Aus den so gewonnenen Daten berechnen Algorithmen, wie es im Material aussieht. «So können wir die Skyrmionen nachweisen», sagt die Forscherin: «Sehen können wir sie nicht direkt.»

Hochaufgelöste Bilder und Filme

Skyrmionen direkt sichtbar machen können Forschende an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. «Der Schwerpunkt unserer Arbeit an der SLS

liegt in der Röntgenmikroskopie mit Ortsauflösungen bis zu 20 Nanometer», sagt Jörg Raabe, Leiter der Mikrospektroskopie-Gruppe. Sein Team produziert aber nicht nur höchst aufgelöste Bilder, sondern auch Filme: «Bei einigen Experimenten arbeiten wir zusätzlich mit Zeitaufösungen im Bereich von 100 Pikosekunden, also 100 Billionstel Sekunden», sagt der Physiker. So lässt sich zeigen, wie magnetische Skyrmionen erzeugt werden und wie sie sich bewegen. Dies interessiert Teams aus Grossbritannien, Deutschland, Korea, China, Russland und den USA. In ihren Experimenten am PSI konnten die Forschenden unter anderem zeigen, dass die Skyrmionen in einem Material aus mehreren Lagen Iridium-Kobalt-Platin auch ohne äusseres magnetisches Feld stabil sind, was für potenzielle Anwendungen wichtig ist.

Mit frustriertem Magnetismus befassen sich auch Forschende am PSI, die Materialien mithilfe der Schweizer Myonenquelle μS untersuchen. Myonen sind instabile Elementarteilchen, die den Elektronen ähneln, aber gut 200-mal so schwer sind. Schiesst man sie in ein Material, können sie als lokale Sonden ihre magnetische Umgebung erkunden. «Diese Methode ist um einen Faktor hundert bis tausend empfindlicher als andere Verfahren», sagt Hubertus Luetkens, Gruppenleiter im Labor für Myonspin-Spektroskopie und ist überzeugt: «Am PSI haben wir hervorragende Forschungsmöglichkeiten mit teilweise weltweit einzigartigen Experimentieranlagen.» Damit untersuchten die Forschenden einen Kristall aus den Elementen Kobalt, Zinn und Schwefel, der ein seltsames magnetisches Verhalten zeigt. Bei tiefen Temperaturen sind die Kobaltatome ferromagnetisch ausgerichtet, bei höheren Temperaturen nimmt eine antiferromagnetische Ausrichtung überhand. Die rivalisierenden magnetischen Ordnungen beeinflussen das elektronische Verhalten der Materialien und lassen sich zudem über die chemische Zusammensetzung, den Druck und das äussere Magnetfeld steuern.

Auch ein solches Material könnte sich dereinst für neuartige elektronische Bauteile eignen. Der Weg dahin ist aber noch weit. «Von der Physik her sind all diese Studien sehr spannend», sagt Frithjof Nolting: «Praktisch würde dies aber einen kompletten Wechsel der Technologie bedeuten – eine gigantische Ingenieursarbeit und eine extrem hohe Hürde. Aber wer weiss, wir haben schon viele Hürden genommen und manchmal ging es schneller als erwartet.» ♦



Effizientere Elektrolyseure

Emiliana Fabbri entwickelt im Labor Materialien, die dazu dienen, Wasser mit Strom aus Sonnen- und Windkraft in sogenannten Elektrolyseuren effizient in Sauerstoff und Wasserstoff aufzuspalten. Die Materialien sollen kostengünstig sein, damit die Gewinnung von Wasserstoff ökonomisch attraktiv wird. Hilfreich bei der Materialanalyse ist die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS, mit der Reaktionsabläufe genau beobachtet und in der Folge optimiert werden können. In Kürze, so hofft Fabbri, wird sie ein Material mit einer speziellen Zusammensetzung entwickelt haben, das Wasserstoff als langfristigen Energiespeicher noch interessanter machen dürfte.

Der Corona-Dunkelziffer auf der Spur

In den PSI-Laboren stellen Forschende Proteine des neuartigen Coronavirus Sars-CoV-2 her. Damit untersucht das Universitätsspital Zürich in einer Langzeitstudie, wie viele Menschen sich in der Schweiz tatsächlich mit dem Virus infiziert haben.

Text: Brigitte Osterath



PSI-Biologe Jacopo Marino überprüft, ob seine Zellkulturen gut gewachsen sind. In ihnen entstehen Coronavirusproteine fürs Universitätsspital Zürich.

Es ist März 2020 – der Monat, in dem sich die Welt endgültig verändert: Experten ist klar geworden, dass sich das neuartige Coronavirus Sars-CoV-2 zu einer Pandemie ausbreitet. Der Bundesrat erklärt die ausserordentliche Lage gemäss Epidemien-gesetz, schliesst nicht lebensnotwendige Geschäfte und Dienstleistungen sowie die Schweizer Grenzen.

Kurz darauf erhält Gebhard Schertler, Leiter des Bereichs Biologie und Chemie am PSI und Professor für Strukturbiologie an der ETH Zürich, eine Anfrage von Adriano Aguzzi. Der ist Direktor des Instituts für Neuropathologie am Universitätsspital Zürich (USZ) und plant eine gross angelegte Studie: Er will im Hochdurchsatzverfahren das Blut vieler Menschen im Grossraum Zürich auf Antikörper testen, die das Immunsystem Infizierter im Kampf gegen das Virus produziert. Das Forschungsprojekt soll ans Licht bringen, wie hoch die Dunkelziffer bei Ansteckungen ist. «Viele Corona-Infektionen verlaufen symptomlos, die Personen merken gar nicht, dass sie infiziert sind», erläutert Aguzzi. «Sie unterziehen sich daher auch keinem Test. Eine Antikörperstudie aber verrät die wahre Durchseuchung der Bevölkerung.»

Der Mediziner benötigt für seine Versuchsreihen dringend Teile des Virus in Reinform, genauer gesagt: dessen Proteine. Denn der Kontakt mit solchen Virusproteinen verursacht im menschlichen Immunsystem die Bildung von sogenannten Antikörpern – grossen Biomolekülen, die an Proteine von Krankheitserregern wie Sars-CoV-2 binden und diese unschädlich machen. Antikörper lassen sich auch noch Monate nach dem Kontakt mit dem Virus im Blut nachweisen, und praktischerweise docken sie ebenso an künstlich hergestelltes Virusprotein wie an natürliches.

Keine Minute gezögert

Die Proteine des Coronavirus sind zum damaligen Zeitpunkt allerdings noch nicht in ausreichender Qualität und Quantität kommerziell erhältlich. Adriano Aguzzi wendet sich deshalb an sein grosses Netzwerk von Forschenden in der Schweiz und der ganzen Welt, unter anderem auch ans PSI. «Es ist nicht überraschend, dass in einer solchen Notsituation ausgerechnet Gebhard Schertler angefragt wurde», sagt Jacopo Marino, Postdoc im PSI-Labor für biomolekulare Forschung. «Wir arbeiten hier seit vielen Jahren mit sehr herausfordernden Proteinen.»

Gebhard Schertler zögert nicht: «Wir kooperieren schon länger mit dem USZ, ursprünglich im Bereich der neurodegenerativen Erkrankungen, um bestimmte Proteine des Nervensystems zu erforschen», sagt er. «Es stand ausser Frage, dass wir diese Erfahrung nutzen würden, um Adriano Aguzzis Studie zu unterstützen.» Schertler bittet

seinen Mitarbeiter Jacopo Marino, ein Team zusammenzustellen, um Coronavirusproteine für den Zürcher Forscherkollegen zu produzieren.

Die PSI-Forschenden machen sich trotz Lock-down sofort an die Arbeit. Eigentlich darf zu der Zeit niemand im Labor arbeiten, denn das PSI befindet sich in der dritthöchsten Stufe der Betriebseinschränkungen. «Aber für unsere Arbeiten zum Coronavirus haben wir eine Ausnahmeerlaubnis bekommen», erzählt Marino. Das PSI unterstützt die Forschungen zu Covid-19 auch finanziell.

Vom Gen zum Protein

Das Erbgut von Sars-CoV-2 besteht aus einem einsträngigen RNA-Molekül, das den Bauplan für unterschiedliche Proteine des Virus enthält. Drei dieser Proteine hatten bei Vortests in Aguzzis Labor starke Immunreaktionen hervorgerufen – sprich, der menschliche Körper produziert nach Kontakt damit viele Antikörper, die sich in Bluttests gut nachweisen lassen. Nach Absprache mit dem Forscherkollegen beschliesst das Team um Jacopo Marino, sich der Herstellung des sogenannten Nukleokapsid-Proteins zu widmen.

Dieses Protein bildet eine schützende Hülle um das Erbgut des Virus und ist damit essenziell für dessen Funktion und Vermehrung. In seinem natürlichen Zustand bildet es mit dem Erbmaterial des Virus grosse Komplexe aus vielen Molekülen.

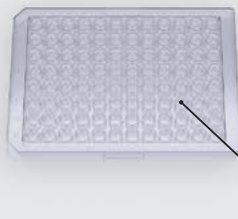
Die Forschenden bauen das Erbgut für das Nukleokapsid-Protein in die DNA von Säugetierzellen ein – ein Vorgang, den das Virus bei einer Infektion auch vornimmt. Anschliessend dürfen diese Zellen in einer Nährlösung in Glaskolben einige Tage lang wachsen und gedeihen. Dabei stellen sie das Protein her. Nächste Hürde ist es, das Protein in reiner Form aus der Zellkultur zu gewinnen. Der PSI-Doktorand Filip Karol Pamula entwickelt schliesslich ein Verfahren dafür.

«Wir mussten buchstäblich innerhalb weniger Wochen Coronavirusexperten werden – wie so viele andere Forschungsgruppen auch», sagt Marino. «Nur gut, dass es bereits so viele wissenschaftliche Informationen über andere Typen von Coronaviren gab.»

4000 Tests in 24 Stunden

Innerhalb von einigen Monaten stellen die Forschenden rund fünf Milligramm Nukleokapsid-Protein her, frieren es in flüssigem Stickstoff ein und liefern es ans USZ. Gleichzeitig arbeiten Forschungsgruppen an der ETH Zürich, an der EPFL in Lausanne, im britischen Oxford und im US-amerikanischen Yale auf Hochtouren, um andere für die Studie benötigte Eiweissmoleküle zu produzieren.

Test zum Nachweis von Sars-CoV-2-Antikörpern



- Coronavirusprotein
- ▲ Antikörper gegen Sars-CoV-2
- ▲ Nachweis-Antikörper
- gekoppeltes Enzym

Beschichtung der Nöpfchen einer Mikrotiterplatte mit Sars-CoV-2-Virusprotein

Zugabe von Blutplasma → Antikörper gegen Sars-CoV-2 binden

Zugabe eines weiteren Antikörpers, der an Sars-CoV-2-Antikörper bindet

Nachweis des zweiten Antikörpers durch eine Farbreaktion, ausgelöst durch ein Enzym

Mit den Lösungen dieser Proteine versetzt das Team um Adriano Aguzzi Blutproben, um zu sehen, ob sich darin Antikörper gegen das Virus befinden. Lassen sich diese nachweisen, war die Person, von der die Probe stammt, bereits mit dem Coronavirus infiziert. Da die Tests mit sehr geringen Flüssigkeitsmengen stattfinden, braucht der Mediziner auch entsprechend wenig Protein. Zudem geht das Ganze sehr schnell: 4000 Tests können die Forschenden innert 24 Stunden durchführen.

Die Blutproben stammen aus ganz unterschiedlichen Abteilungen des USZ, wurden also für Untersuchungen unabhängig von einer Covid-19-Erkrankung verwendet. Auch greifen die Forschenden auf Blutspenden zurück – von Menschen also, die zum Zeitpunkt der Blutabnahme völlig gesund gewesen sein sollten. Das ist der grosse Unterschied zu den Coronatests aus einem Nasen-Rachen-Abstrich, die Menschen normalerweise nur dann machen lassen, wenn sie bereits Symptome haben – oder zumindest nahen Kontakt mit einem Infizierten hatten.

Da die Blutproben unabhängig von der Antikörperstudie genommen wurden, lässt sich das Infektionsgeschehen auch später noch bis auf seinen Anfang zurückverfolgen. Die Forschenden messen selbst Proben aus dem Jahr 2019, um sicherzugehen, dass ihr Test nicht positiv auf Antikörper gegen andere Coronaviren anschlägt und so das Ergebnis verfälscht.

Die zweite Welle schlägt richtig zu

Nachdem Coronavirusproteine aus Laboren rund um den Globus in Zürich eingetroffen sind, beginnt das Team am USZ mit den eigentlichen Antikörpertests. Wie sich dabei zeigt, steigt die Zahl der positiven Blutproben im Laufe des März 2020 langsam an und erreicht im April ein Maximum. Zu dem Zeitpunkt haben demnach rund 1,5 Prozent der Bevölkerung im Grossraum Zürich Kontakt mit dem Virus

gehabt. Dann fällt die Zahl wieder bis auf 0,7 Prozent im Juli. Die Antikörper gegen das Coronavirus lassen sich lediglich um die 100 Tage lang im Blut nachweisen.

«Dass die Durchseuchung der Bevölkerung während der ersten Welle nur so gering war, hat uns alle überrascht», sagt Adriano Aguzzi. In anderen Regionen der Schweiz war sie weiteren Studien zufolge höher: Im Kanton Genf etwa waren Anfang Mai Antikörper bei knapp zehn Prozent aller Personen nachweisbar. «Der Lockdown hat demnach erfolgreich eine schweizweite Ausbreitung des Virus verhindert.»

Ab November 2020 sieht die Situation dann ganz anders aus: Die positiv getesteten Blutproben im Kanton Zürich erreichen Mitte Dezember rund 6 Prozent. «Die zweite Welle hat massiv eingeschlagen», sagt Aguzzi. Im Kanton Genf liegt die Zahl aber auch hier mit 21 Prozent wieder höher. Allgemein zeige die Studie Folgendes: «Die wahre Durchseuchung der Bevölkerung mit dem Coronavirus ist gut dreimal so hoch, wie die offiziellen Tests aus Abstrichen es vermuten lassen.»

Inzwischen hat das Team um Adriano Aguzzi über 80 000 Blutproben auf Antikörper gegen das Coronavirus getestet. Die Studie wird noch mindestens zwei Jahre weiterlaufen. Und das Versprechen steht: Wenn der Mediziner dafür neues Nukleokapsid-Protein benötigt, ist das PSI erneut zur Stelle. ♦

«Wir mussten buchstäblich innerhalb weniger Wochen Coronavirusexperten werden.»

Jacopo Marino, Biologe im Labor für biomolekulare Forschung am PSI

Aktuelles aus der PSI-Forschung

1 Gesundheitsrisiko Feinstaub

Forschende des PSI haben gemeinsam mit Kollegen mehrerer europäischer Institutionen untersucht, ob Feinstaub aus bestimmten Quellen besonders gesundheitsschädlich sein kann. Dabei fanden sie Hinweise darauf, dass die Menge des Feinstaubes allein nicht das grösste Gesundheitsrisiko darstellt. Vielmehr kann es sein, dass das sogenannte oxidative Potenzial den Feinstaub besonders schädlich macht. Als oxidatives Potenzial des Feinstaubes wird die Fähigkeit bezeichnet, Antioxidantien abzubauen, was zur Schädigung von Körperzellen und -gewebe führen kann. Das oxidative Potenzial des Feinstaubes bestimmen vor allem sogenannte anthropogene sekundäre organische Aerosole, die hauptsächlich aus Holzfeuerungen stammen, und Metallemissionen aus Bremsenabrieb des Strassenverkehrs. Feinstaub in urbanen Regionen besitzt den Studienergebnissen zufolge ein höheres oxidatives Potenzial und ist deswegen gesundheitsschädlicher als Feinstaub im ländlichen Raum.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/42438>

Feinstaub zählt zu den **5** häufigsten Todesursachen weltweit.

Partikel, die kleiner sind als **10** Mikrometer, werden zum Feinstaub gezählt.

Von **25,8** Tonnen im Jahr 1990 auf 14,2 Tonnen im Jahr 2019 sanken die Feinstaubemissionen in der Schweiz.

2 Heliumkern genau vermessen

In Experimenten am PSI hat eine internationale Forschungszusammenarbeit den Radius des Atomkerns von Helium fünfmal präziser gemessen als jemals zuvor. Danach beträgt der sogenannte mittlere Ladungsradius des Heliumkerns 1,67824 Femtometer (1 Billiarde Femtometer ergeben 1 Meter). Mithilfe des neuen Werts lassen sich fundamentale physikalische Theorien testen und Naturkonstanten noch genauer bestimmen. Für die Grundlagenphysik ist es ausserdem entscheidend, die Eigenschaften des Heliumkerns zu kennen, unter anderem um die Vorgänge auch in anderen Atomkernen, die schwerer als Helium sind, zu verstehen. Für ihre Messungen benötigten die Forschenden Myonen – diese Teilchen ähneln Elektronen, sind aber rund 200-mal schwerer. Das PSI ist weltweit der einzige Forschungsstandort, an dem genügend sogenannte niederenergetische Myonen für solche Experimente produziert werden.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/43551>

3 Bessere Quantenbits

Quantencomputer versprechen für gewisse Anwendungen eine enorme Beschleunigung der Rechenleistung. Auf dem Weg zu diesen neuartigen Computern sind zunächst sogenannte Quantenbits nötig: Speicher-Bits, die anders als die klassischen Bits nicht nur die binären Werte Null und Eins annehmen können, sondern auch jede beliebige Kombination dieser Zustände.

Forschende am PSI haben nun einen detaillierten Plan vorgelegt, wie sich schnellere und genauere Quantenbits erschaffen liessen. Die zentralen Elemente sind dabei magnetische Atome aus der Klasse der sogenannten Seltenen Erden, die gezielt in das Kristallgitter eines Materials eingebracht würden. Jedes dieser Atome stellt dann ein Quantenbit dar. Die Forschenden haben genaue theoretische Berechnungen erstellt und gezeigt, wie diese Quantenbits mittels Laserpuls aktiviert, miteinander verschränkt, als Speicher-Bits genutzt und ausgelesen werden könnten.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/43488>

4 Tresor gegen Magnetismus

Am PSI wird derzeit ein Raum aufgebaut, der in seiner Grösse den weltweit besten Abschirmraum gegen Magnetismus darstellt. In einem nächsten Schritt werden Forschende in der Kammer ein Experiment installieren, das nach einer bisher unentdeckten physikalischen Grösse suchen soll, dem elektrischen Dipolmoment des Neutrons. Das Neutron ist zwar nach aussen ein elektrisch neutrales Teilchen, doch im Inneren könnte es eine Ladungstrennung geben. Zerrt man eine positive und eine negative Ladung auseinander und gibt diesen Dipol in ein elektrisches Feld, so richtet er sich aus, so wie die Kompassnadel im Magnetfeld die Nord-Süd-Richtung anzeigt. Das Experiment will feststellen, ob sich das Neutron in einem elektrischen Feld ein wenig dreht, also ob es ein solches Dipolmoment gibt oder nicht. Gemäss der gängigen Theorie der Elementarteilchenphysik würde das Neutron kein messbares elektrisches Dipolmoment aufweisen. Doch dieses sogenannte Standardmodell der Teilchenphysik kann wichtige Beobachtungen nicht erklären. Liesse sich ein elektrisches Dipolmoment des Neutrons messen, könnten sich neue Erkenntnisse über den Anfang des Universums ergeben.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/43373>



Das PSI bei Nacht

Wenn die Sonne hinter dem Horizont verschwindet und sich die Dunkelheit über das PSI senkt, ergeben sich neue Perspektiven auf am Tage Vertrautes. Künstliches Licht aus Innenräumen, von Laternen und Fahrzeugen taucht Gelände und Gebäude in eigentümlichen Glanz. Begleiten Sie uns bei einer nächtlichen Erkundung.

Text: Christian Heid

GALERIE

Helligkeitssensoren am PSI registrieren die heraufziehende Dämmerung und auf dem gesamten Gelände schaltet sich die Beleuchtung ein. Aus der Vogelperspektive wirkt das grösste Schweizer Forschungsinstitut mit seinen mehr als 2000 Mitarbeitenden beinahe wie eine kleine Ortschaft.



Die Container der «Energy System Integration»-Plattform ESI stehen für das modulare Konzept der Anlage. Mithilfe der ESI erkunden Forschende des PSI, wie die Energieversorgung der Zukunft zuverlässig funktionieren kann und damit gesichert ist, dass buchstäblich nicht die Lichter ausgehen.





Nur der Eingangsbereich und die wenigen Räume daneben sind beleuchtet: Die übrigen 740 Meter des Freie-Elektronen-Röntgenlasers SwissFEL liegen eingebettet in einem Erdwall inmitten des Würenlinger Waldes unter dem Sternenhimmel. Drinnen beobachten Forschende ultraschnelle Vorgänge mit Lichtpulsen, wie es sie weltweit vergleichbar nur noch in vier weiteren Grossforschungsanlagen gibt.



47° 32' 15" Nord, 8° 13' 30" Ost: Die Brücke über die Aare bildet in gewisser Weise den geografischen Mittelpunkt des PSI. Wie eine Klammer verbindet sie die Areale PSI Ost und PSI West miteinander. Auch in der Nacht ist sie ein unerlässliches Bindeglied zwischen den Institutsteilen an den beiden Ufern des grossen Flusses.

Auch die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS ist mit ihren vielen Messplätzen rund um die Uhr in Betrieb. Von oben betrachtet wirkt das kreisrunde, Ufo-ähnliche Gebäude in der Dämmerung eher unscheinbar, wie man links oben auf dem Luftbild von Seite 28 erkennt. Der beleuchtete Eingang vermittelt dagegen einen Eindruck von der Grösse der Anlage.



«Die Versprechen halten, die wir uns selbst geben»

Vaida Auzelyte hat auf dem ETH-Campus in Lausanne das Start-up Morphotonix gegründet. Ihre Geschäftsidee: Kunststoffprodukte mit Hologrammen vor Fälschungen zu schützen. Die litauische Physikerin profitiert dabei bis heute von ihren Erfahrungen am PSI.

Text: Daniel Saraga

Sie habe es nie bereut, sagt Vaida Auzelyte: «Ein Start-up zu gründen war überhaupt keine schwierige Entscheidung.» Nach zwei Anstellungen in der Forschung habe sie gewusst, dass ihr beruflich etwas fehle. «Ohne zu zögern habe ich mich für ein neues Leben entschieden.» 2013 verliess Vaida Auzelyte die ETH in Lausanne und wurde Mitgründerin des Start-ups Morphotonix. Der Name ist eine Art Kofferwort aus der griechischen Silbe «morph», die Gestalt betreffend, und «photonics», die englische Bezeichnung für lichtbasierte Technologien.

Das Spezialgebiet der 43-jährigen Physikerin ist die Nanolithografie, also die Kunst, winzige Strukturen in Materialien zu gravieren. Eine besondere Anordnung solcher Strukturen kann das Licht so zurückwerfen, dass ein Hologramm entsteht – ähnlich wie jene, die man auf Identitätskarten oder Banknoten findet.

Auzelyte wächst in einer litauischen Kleinstadt an der Ostseeküste auf, verbringt ihre Sommer am Strand und beschliesst schliesslich, an der Universität von Vilnius Physik zu studieren. Ein Erasmus-Aufenthalt in Amsterdam und eine Promotion im schwedischen Lund lassen sie in die Kernphysik eintauchen, was sie zur Entwicklung neuer Lithografie-Techniken führt – und damit zum Paul Scherrer Institut.

Am PSI macht sie zwischen 2006 und 2009 ihr erstes Postdoktorat und forscht an einer Anlage für Extrem-Ultraviolett-Lithografie. «Ich war für Industrieunternehmen verantwortlich und deren

Leistungstests von Materialien mittels extrem ultravioletter Strahlung.» Sie sei immer neugierig gewesen, mehr über die industrielle Welt zu erfahren. «Man muss die Unterschiede zwischen der Wissenschaft und der Privatwirtschaft verstehen, um zusammenarbeiten zu können.»

Vom Reinraum in die Natur

Sie habe sehr gute Erinnerungen an ihre Zeit am PSI, sagt Auzelyte: «Fantastische und aufgeschlossene Kollegen, ein eingespieltes Team, gute Arbeitsethik und eine hervorragende Organisation.» Vom Aargau aus entdeckt sie die Schweizer Alpen, die sie so oft wie möglich besucht. Wandern, Skifahren und schliesslich auch Canyoning, eine «sehr technische» Sportart, bei der man Bäche, Schluchten und Wasserfälle durch eine Mischung aus Klettern, Abseilen und Tauchen in eisigem Wasser mit Neoprenanzug erkundet. «Man kann damit normalerweise unzugängliche Ecken der Natur besuchen. Das ist mehr als schön: Es ist grossartig!»

Im Jahr 2010 geht sie für ein zweites Postdoktorat an die ETH in Lausanne und zieht mit ihrem Partner nach Orbe, einer Kleinstadt zwischen Lausanne und Yverdon. «Ein grosser Garten war uns wichtig. Wenn ich im sterilen Kittel und mit Schutzbrille den ganzen Tag in einem Nanolithografie-Reinraum verbracht habe, muss ich danach in die Natur.» Bei der Gartenarbeit gehe es ihr nicht nur darum, am Ende Obst und Gemüse zu ernten, sondern auch, deren





«Ich backe mein eigenes Brot,
sehr kompakt, wie in Litauen»

Vaida Auzelyte, Technische Direktorin, Morphotonix

Wachstum zu überwachen. Auzelyte beobachtet und analysiert auch in der Natur gerne die Prozesse. «Ich mache das ständig, bei allen meinen Hobbys», erzählt sie. «Auf meinen Wanderungen sammle ich Heilpflanzen. Ich backe mein eigenes Brot, sehr kompakt, wie in Litauen. Ich mache Käse und ich versuche mich erfolgreich an der Fermentierung von Essig und Sauerkraut.»

Was ihr bei diesen Hobbys hilft, gelte auch für ein Start-up, sagt Auzelyte: «Man muss aufmerksam sein und reaktionsschnell.» Diese Erfahrung sowie die Kenntnisse, die sie unter anderem am PSI erwarb, ermöglichten ihr die Entwicklung der Geschäftsidee für Morphotonix: Hochsicherheits-hologramme in Hartplastik zu produzieren.

Von der Schokolade zur Sicherheitstechnik

Zunächst suchten Vaida Auzelyte und ihrer Kollegin Veronica Savu Erfolg mit Hologrammen in einer Branche, die überraschen mag: die Welt der Schokolade. Sie schlugen vor, Hologramme in die Oberfläche von Pralinen zu übertragen, um den Delikatessen Farbe zu verleihen – eine schillernde Dekoration ohne chemische Zusätze. In Zusammenarbeit mit verschiedenen Schokoladenformherstellern entwickelten die beiden Unternehmerinnen mehrere Prototypen. Trotz Schlagzeilen rund um die Welt führte die Innovation nur sehr zögerlich zu kommerziellen Produkten. «Vielleicht war die Idee von Hologrammen auf einem Lebensmittel einfach zu radikal», sagt die Physikerin heute. Trotzdem habe es viel Spass gemacht, mit den Menschen in den Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Schokoladenhersteller zusammenzuarbeiten. «Und ihre Produkte zu probieren!»

Die beiden Unternehmerinnen sind allerdings vom Potenzial ihrer Technologie grundsätzlich überzeugt. Und tatsächlich, nach einer eingehenden Marktanalyse finden sie ihre Nische: das Sicherheitsgeschäft. Mittels Hologrammen können kommerzielle Produkte authentifiziert und vor Fälschungen geschützt werden. Manche Fälscher sind in der Lage, Hologrammaufkleber, wie man sie beispielsweise auf Verpackungen findet, zu kopieren, erklärt Auzelyte. «Unsere Technologie geht deshalb einen Schritt weiter. Mit ihr lassen sich die Hologramme direkt im Kunststoff des Produkts erzeugen. Das zu kopieren, ist unmöglich.»

Morphotonix graviert Nanostrukturen in Pressformen aus Metall ein. Mit diesen erfolgt dann die günstige Massenproduktion von Hologrammen in

Hartplastik. Die Hologramme werfen das Licht zurück und bringen das Material zum Schillern (siehe Bild links).

Doch anders als bei den Pralinen geht es nun um mehr als die Ästhetik, betont Auzelyte: «Der Sicherheitsstandard, den wir gewährleisten können, ist ähnlich hoch wie der eines Reisepasses.» Entsprechend umfasst der Kundenstamm des Start-ups Herstellerfirmen von funktionellen Lebensmitteln, medizinischen Geräten und Automobilteilen.

Das Start-up konnte von Beginn an auf externe Investoren verzichten und ist dadurch stets unabhängig geblieben. «Das ist eher ungewöhnlich für ein junges Technologieunternehmen, aber ja: Unsere Umsätze ermöglichen unser Wachstum!», sagt Auzelyte lächelnd. Sie kümmert sich um die Fertigungsprozesse und den Betrieb, während ihre Kollegin Veronica Savu, die Geschäftsführerin des Unternehmens, die Finanzen und die Kommunikation unter sich hat. «Wir sind beide sehr froh über diese Aufteilung.» Sie selbst möge das Konkrete: Projekte nach vorne bringen und Probleme lösen. «Veronica und ich ergänzen uns sehr gut und unsere Kommunikation verläuft reibungslos. Das ist das A und O eines jeden Start-ups.»

In den Anfangsjahren des Start-ups bleibt ihr zwar weniger Zeit für ihre Hobbys, aber eines hat sie nie aufgegeben: Sie unterrichtet weiterhin jede Woche die japanische Kampfkunst Aikido in Renens bei Lausanne: «Es gibt die Arbeit, und es gibt das Leben neben der Arbeit. Als ich Morphotonix ins Leben rief, versprach ich mir eines: Aikido nicht zu opfern.» Das hat sie geschafft. «Man muss die Versprechen, die man sich selbst gibt, einhalten. Wie können wir sonst die Versprechen halten, die wir anderen geben?» ♦

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





Paul Scherrer Institut
5232 Villigen PSI, Schweiz

5232 ist die Adresse für Forschung an Grossforschungsanlagen in der Schweiz. Denn das Paul Scherrer Institut PSI hat eine eigene Postleitzahl. Nicht ungerne finden wir, bei einem Institut, das sich über 342000 Quadratmeter erstreckt, eine eigene Brücke über die Aare besitzt und mit 2100 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 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

5

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

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.

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 2/2021 (Mai 2021)
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,
Christian Heid, Dr. Laura Hennemann,
Sebastian Jutzi (Ltg.),
Dr. Brigitte Osterath,
Dr. Mirjam van Daalen

Design und Art Direction
Studio HübnerBraun

Fotos
Scanderbeg Sauer Photography,
ausser: Seiten 2, 12: Paul Scherrer
Institut/Mahir Dzambegovic;
Seiten 26, 27: Shutterstock; Seiten
35–37: Désirée Good; Seite 38:
Paul Scherrer Institut/Markus Fischer.

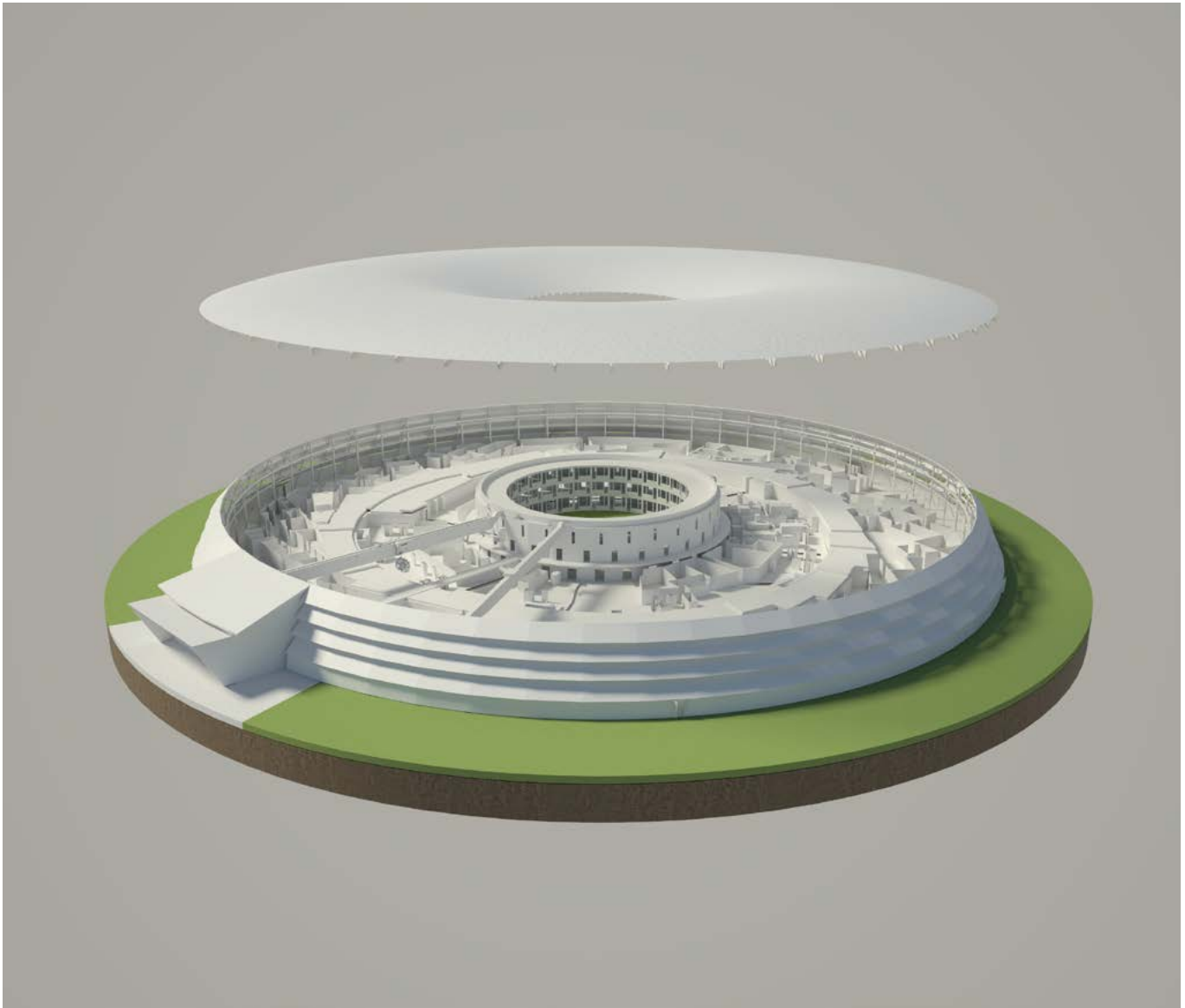
Grafiken
Studio HübnerBraun,
ausser: Seiten 6/7: Daniela Leitner;
Seiten 20, 25, 41: Paul Scherrer Insti-
tut/Mahir Dzambegovic.

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 Französisch
erhältlich
www.psi.ch/fr/5232





Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

Grosse Anlagen zur Erforschung der kleinsten Dinge dieser Welt: So könnte man zusammenfassen, was das PSI ist. Doch dahinter verbirgt sich ein komplexes Getriebe aus modernstem Hightech. Mit dem weltweit einmaligen Ensemble aus SLS, SwissFEL, SINQ, SpS und CHRISP eröffnet sich ein tiefer Blick in die Materie. Damit suchen Forschende nach Antworten auf die letzten Rätsel des Universums, fahnden nach neuen Wirkstoffen und Therapien für die Medizin, entwickeln Materialien mit aussergewöhnlichen Eigenschaften oder drehen Filme von molekularen Abläufen. Mit aufwendigen 3-D-Grafiken führen wir durch die Anlagen des PSI und zeigen, wie sie Elektronen und Protonen extrem beschleunigen und damit zu gigantischen Mikroskopen werden.



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