

SCHWERPUNKTTHEMA

# NEUE MATERIALIEN FÜR DIE ZUKUNFT

Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

02/2023

# 2025



## SCHWERPUNKTTHEMA: NEUE MATERIALIEN FÜR DIE ZUKUNFT



HINTERGRUND

### Woraus die Zukunft gemacht ist

Schon immer nutzt der Mensch nicht nur Materialien, die er in der Natur vorfindet, sondern er formt, bearbeitet und verändert sie unentwegt. Die erste Voraussetzung dafür ist die Kenntnis ihrer Eigenschaften und ihrer Struktur. Forschende am PSI schaffen dieses Wissen.

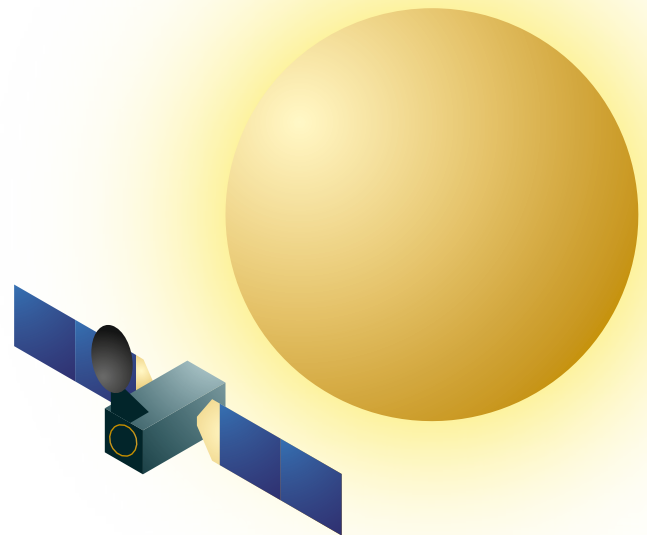
Seite 10

INFOGRAFIK

### Tiefe Einblicke und harte Tests

Das weltweit einmalige Ensemble an Forschungsanlagen auf dem Areal des PSI bietet Forschenden und der Industrie die Möglichkeit, Wissen zu gewinnen und damit neue Materialien für Produkte oder deren Herstellung zu entwickeln und zu testen.

Seite 16





HINTERGRUND

## Fingerspitzengefühl für feinste Strukturen

In unserem digitalen Zeitalter geht der Fortschritt einher mit der Miniaturisierung. Um alles immer kleiner zu machen, müssen Materialien mit neuen Verfahren hergestellt und bearbeitet werden. Im PSI-Labor für Nano- und Quantentechnologien entwickeln Forschende innovative Techniken der Mikro- und Nanofabrikation.

Seite 18

INHALT

EDITORIAL	4
ALLTAG	
Knall und Nebel	6
FORSCHUNG	
Energie mit Druck speichern	7
 SCHWERPUNKTTHEMA: NEUE MATERIALIEN FÜR DIE ZUKUNFT	8
 HINTERGRUND Woraus die Zukunft gemacht ist	10
 INFOGRAFIK Tiefe Einblicke und harte Tests	16
 HINTERGRUND Fingerspitzengefühl für feinste Strukturen	18
IM BILD	
Nanoteilchen in einem neuen Licht	21
IN DER SCHWEIZ	
Mit Röntgenlicht zu sicheren Medikamenten	22
Seit mehr als zehn Jahren unterstützt das PSI-Spin-off Excelsus Structural Solutions Unternehmen der pharmazeutischen oder chemischen Industrie dabei, Arzneimittel genau zu analysieren.	
IN KÜRZE	
Aktuelles aus der PSI-Forschung	26
1 Autobremesen weiter optimieren	
2 Medikamente mit Licht an- und abschalten	
3 Flugzeuge nachhaltig antreiben	
4 Rätsel des nächtlichen Smogs gelöst	
GALERIE	
Lieblingsgerichte aus aller Welt	28
In dieser Bilderserie stellen wir Ihnen fünf Forschende und ihre Leibspeisen vor.	
ZUR PERSON	
Schweizer Präzision und griechisches Temperament	34
Iakovos Barmpadimos berechnet Klimarisiken für die Rückversicherung SCOR. Einen wichtigen Teil der notwendigen Fähigkeiten hat der Atmosphärenphysiker während seiner Promotion am PSI gelernt.	
WIR ÜBER UNS	38
IMPRESSUM	40
AUSBlick	41



Christian Rüegg, PSI-Direktor



# Das Leben durch Forschung an Materialien besser machen

Es ist so selbstverständlich und so untrennbar mit unserem alltäglichen Leben verbunden, dass es uns meist überhaupt nicht auffällt: Ständig sind wir von einer Vielzahl von Materialien umgeben und gehen nahezu unbewusst mit ihnen um. Sehr selten denken wir darüber nach, dass diese Materialien hergestellt werden müssen, und in einigen sogar eine über Jahrhunderte oder gar Jahrtausende dauernde Entwicklungsarbeit steckt – beispielsweise in vielen Metallgegenständen oder Keramik. Seit der Steinzeit gehört das Entdecken, Formen und Verbessern von Materialien zu den Kerneigenschaften des Menschen, die uns erst zu einer ganz besonderen Spezies machen. Nicht zuletzt dienen Materialien der Bezeichnung ganzer Epochen, wie eben der Steinzeit, der Bronzezeit oder der Eisenzeit.

Viele Herausforderungen, vor denen wir heute stehen, werden wir nur meistern, wenn es uns gelingt, Materialien zu verbessern und neuen Bedürfnissen anzupassen. Im Zentrum dabei steht die Materialforschung. Sie umfasst zahlreiche Teildisziplinen und lässt sich oft nicht trennscharf von anderen Bereichen der Wissenschaft abgrenzen – zum Beispiel, wenn es um die Entwicklung von Verfahren geht, mit denen neue Materialien hergestellt werden. Umgekehrt verhält es sich ebenso, zum Beispiel, wenn wir erst neue Materialien entwickeln müssen, um bestimmte Verfahren oder Anwendungen verwirklichen zu können.

Jedenfalls arbeiten viele Forschende am PSI in den Materialwissenschaften und kooperieren dazu auch mit den Institutionen des ETH-Bereichs, namentlich der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa. Sie nutzen dafür das weltweit einmalige Ensemble von Grossforschungsanlagen des PSI, zu der auch die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS gehört, in deren Halle ich hier stehe. Mit ihr wie auch mit den anderen Grossforschungsanlagen blicken wir tief – bis auf die atomare Ebene – in die Materie, um zu verstehen, was in ihrem Innersten abläuft. Das bildet dann die Grundlage dafür, neue Materialien zu entwickeln. Manchmal für scheinbar triviale Alltagsgegenstände, manchmal für die Medizin, die Energieversorgung oder die Computer der Zukunft. Immer aber soll unsere Materialforschung dazu beitragen, das Leben der Menschen durch Technologie zu verbessern.

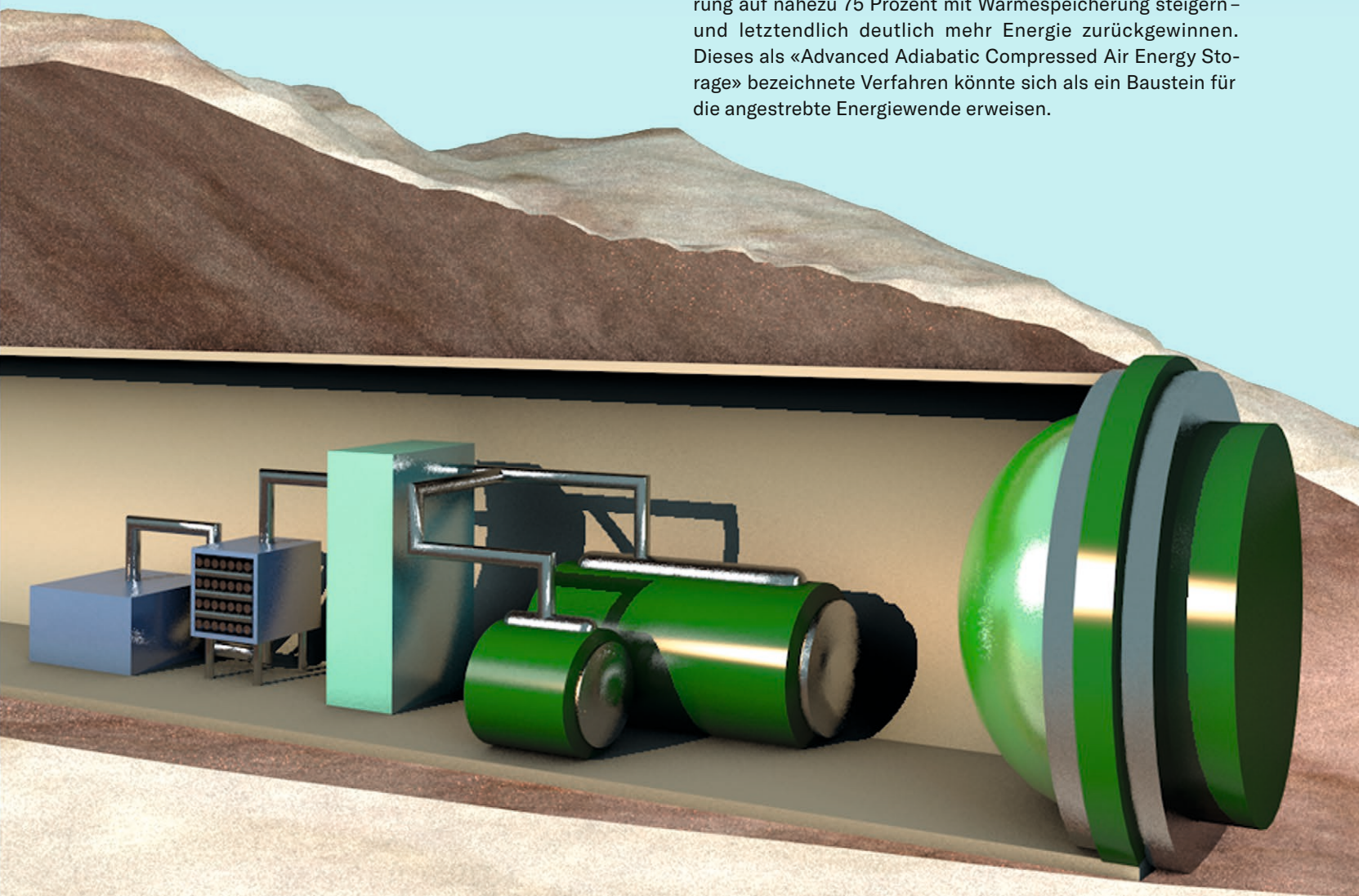


## Knall und Nebel

Wohl kaum ein anderes Geräusch ist mit besonderen Anlässen so verbunden wie das Knallen von Sekt- oder Champagnerkorken. Doch neben dem akustischen Effekt, der beim Öffnen der Flaschen auftritt, lässt sich noch ein weiteres physikalisches Phänomen beobachten. Aus dem Flaschenhals wabert ein feiner Nebelschleier. Er besteht wahlweise aus kleinen Wassereiskristallen oder Trockeneis. Der Dunst entsteht aufgrund eines Prozesses, der in der Fachsprache als adiabatische Zustandsänderung bezeichnet wird. Dabei ändert ein System seinen Zustand, ohne dass es Energie mit seiner Umwelt austauscht. Im Fall des Schaumweins dehnt sich das zwischen Flüssigkeit und Korken eingesperrte Gas beim Öffnen der Flasche schlagartig aus. Unter anderem wird dafür in dem Gas gespeicherte thermische Energie genutzt. Die Folge: Das Gas kühlt enorm ab. Je nach der Ausgangstemperatur gefrieren dann entweder winzige Wassertropfen zu Eis oder Kohlendioxid zu Trockeneis. In ersterem Fall ist der Nebel dann weiss bis grau, in letzterem Fall bläulich. Davon unberührt bleibt eines immer gleich: Prost!

# Energie mit Druck speichern

Forschende des PSI haben sich an einem Pilotprojekt beteiligt, bei dem untersucht wurde, ob sich Energie mithilfe von Druckluft effektiv speichern lässt. Dazu pressten sie Luft unter Verwendung eines mit elektrischem Strom betriebenen Kompressors in eine unterirdische Kaverne. Dabei tritt ein Phänomen auf, das man unter anderem beim Aufpumpen von Fahrradreifen feststellen kann: Die Luft erwärmt sich bei der Kompression. Diese Wärme würde sich ohne Eingreifen in das umgebende Erdreich beziehungsweise Gestein verflüchtigen. Lässt man die komprimierte Luft wieder durch eine Turbine entweichen, kann man neue elektrische Energie gewinnen. Nachteil: Das Gas kühlt beim Ausdehnen ab und kann die Turbine durch gefrierende Feuchtigkeit sogar lahmlegen. Deshalb griffen die Forschenden zu einem Kniff und speicherten die beim Komprimieren entstehende Wärme in einem gut isolierten Reservoir. Beim Auslassen der Luft durch eine Turbine führten sie die konservierte thermische Energie dem Gas wieder zu. Damit liess sich die Effizienz beziehungsweise der Wirkungsgrad der Methode von 45 bis 55 Prozent ohne Wärmespeicherung auf nahezu 75 Prozent mit Wärmespeicherung steigern – und letztendlich deutlich mehr Energie zurückgewinnen. Dieses als «Advanced Adiabatic Compressed Air Energy Storage» bezeichnete Verfahren könnte sich als ein Baustein für die angestrebte Energiewende erweisen.



HINTERGRUND  
Woraus die Zukunft  
gemacht ist

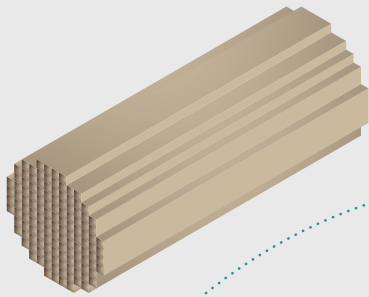
Seite 10

1



# Neue Materialien für die Zukunft

Ob Quantencomputer, Mikroelektronik, moderne Medizin oder ressourcenschonende Produktionsverfahren von Massengütern: Die Materialwissenschaften liefern die Grundlage dafür, aktuelle und zukünftige Herausforderungen zu meistern.



2

INFOGRAFIK

Tiefe Einblicke und harte Tests

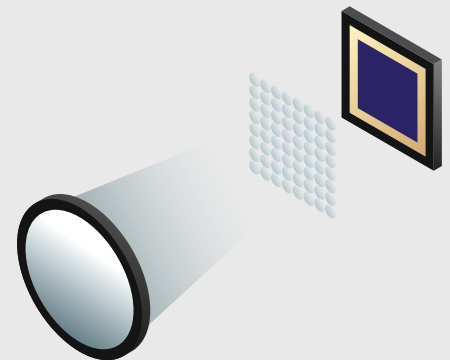
Seite 16

3

HINTERGRUND

Fingerspitzengefühl für feinste Strukturen

Seite 18





## Woraus die Zukunft gemacht ist

Schon immer nutzt der Mensch nicht nur Materialien, die er in der Natur vorfindet, sondern er formt, bearbeitet und verändert sie unentwegt. Die erste Voraussetzung dafür ist die Kenntnis ihrer Eigenschaften und ihrer Struktur. Forschende am PSI schaffen dieses Wissen. Damit lassen sich dann neue Werkstoffe entwickeln, zum Beispiel für leistungsfähigere Energiespeicher, bessere Elektronik, nachhaltigere Verpackungen oder effizientere Fertigungsverfahren.

Text: Barbara Vonarburg



## Gleich und doch verschieden

Frithjof Nolting, Leiter des Labors für kondensierte Materie am PSI und Titularprofessor der Universität Basel, weiss, wie sehr sich Materialien unterscheiden können, je nachdem, wie sich ihre Atome anordnen. Ein Beispiel: Graphit und Diamant. Beide bestehen nur aus Kohlenstoff, haben aber völlig unterschiedliche Eigenschaften. Graphit eignet sich für Minen in Bleistiften, Diamant, zum Brillanten geschliffen, als hartes Schmuckstück.

Frithjof Nolting steht vor einer der Messstationen der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS, die mit intensivem Röntgenlicht die Strukturen im Inneren von Materialien sichtbar macht. «Die Struktur eines Materials bestimmt zu einem grossen Teil dessen Eigenschaften», sagt der Physiker und verdeutlicht das an einem eingängigen Beispiel: Diamant und Graphit. Beide Materialien bestehen aus demselben Element, reinem Kohlenstoff. Allerdings sind dessen Atome jeweils unterschiedlich angeordnet. In Graphit liegt der Kohlenstoff in aufeinanderliegenden, nicht miteinander verbundenen Schichten vor, in Diamant sind die Kohlenstoffatome dagegen dreidimensional vernetzt. Das macht Diamant so hart und Graphit so weich. Nolting leitet das Labor für Kondensierte Materie im Bereich Photonenforschung (PSD) am PSI, das an der SLS, zusammen mit anderen Laboren des Bereichs, verschiedene, sogenannte Strahllinien betreibt und diese Messstationen für die Materialforschung nutzt. «Hier an der Tomcat-Strahllinie wurden beispielsweise Metallschäume untersucht», erklärt Nolting: «Eine neue Materialklasse mit vielen interessanten Eigenschaften.»

Bereits heute werden Metallschäume zum Beispiel als Dämpfungsmaterial in der Fronthaube der ICE-Züge der Deutschen Bahn eingesetzt, aber auch als Seitenträger von Autos oder als Bauteile in der Luft- und Raumfahrt. Metallschäume sind sehr porös und deshalb leicht, aber trotzdem steif und fest. Sie absorbieren Stösse, Schwingungen oder Schall und isolieren thermisch sehr gut. «Die Dichte und Festigkeit, aber auch die Wärmeleitfähigkeit der Schäume hängt stark davon ab, wie sich ihre Mikrostruktur gebildet hat», sagt Nolting. Für die Herstellung des Schaums wird üblicherweise

eine Metalllegierung mit einem Zusatz verwendet. Erhitzt man diese Mischung, schmilzt einerseits das Metall, andererseits bildet sich ein Gas, das sich ausdehnt. Das Material wird auf diese Weise aufgeschäumt wie ein Schwamm.

### Zusehen, wie die Mikrostruktur entsteht

Diesen Prozess haben PSI-Forscher der Röntgentomografie-Gruppe im PSD zusammen mit deutschen Kollegen an der Tomcat-Strahllinie verfolgt. Sie verwendeten dafür einen wenige Millimeter grossen Block Metall und platzierten diesen für die Röntgenaufnahmen auf einem Drehtisch, der bis zu 500 Umdrehungen pro Sekunde ausführen kann. Während die rotierende Metallprobe langsam aufgeheizt wurde, machte eine Hochgeschwindigkeitskamera Aufnahmen, die später zu 3-D-Bildern zusammengesetzt wurden wie bei der Computertomografie in der Medizin. «Mit 1000 Tomogrammen pro Sekunde haben wir sogar einen Weltrekord für diese Untersuchungsmethode erzielt», sagt PSI-Physiker Christian Schlepütz.

Auf den 3-D-Aufnahmen mit der Auflösung von einigen Mikrometern ist zu sehen, wie sich in der Metalllegierung anfänglich viele kleine Blasen bilden, die dann zum Teil in einer Tausendstelsekunde verschmelzen. Da die Grösse und Vernetzung der Blasen die mechanischen Eigenschaften des Metallschaums bestimmen, kann mithilfe solcher Studien das Herstellungsverfahren dieses vielversprechenden Materials für verschiedene Anwendungen verbessert werden.

Ein wichtiger Trend in der Forschung sei, so Physiker Nolting, dass man Werkstoffe immer häufiger unter variablen Bedingungen oder im Betrieb untersuche. Die Fachleute sprechen von Messungen «in situ» und «operando».

### Leistungsfähigere Batterien

«Wir führen viele Operando-Charakterisierungen durch», sagt Sigita Trabesinger. «Dabei schauen wir uns die Zelle einer Batterie an und messen strukturelle Veränderungen während des Ladens und Entladens der Batterie.» Die Chemikerin leitet am PSI die Gruppe Batterie-Elektroden und -Zellen. In Smartphones, Laptops, Akku-Bohrschraubern, E-Bikes oder Elektroautos stecken heute sogenannte Lithium-Ionen-Batterien. Doch weil deren Energiedichte beschränkt ist, müssen diese Stromspeicher oft wieder aufgeladen werden. «Der nächste Schritt, der die Energiedichte von Akkus erheblich verbessern wird, ist die Verwendung von metallischem Lithium anstelle vom heute üblichen Graphit», sagt Trabesinger (siehe Grafik Seite 13). «Das ist so etwas wie der heilige Gral bei der Suche nach



alternativen Materialien.» Doch bevor es soweit ist, müssen noch zahlreiche Hindernisse bei der Konstruktion entsprechender Akkus überwunden werden.

Mit Lithium-Metall-Batterien wurde bereits in den 1970er-Jahren experimentiert, doch damals zeigte sich nach einigen Ladezyklen, dass das Metall in der Batteriezelle sogenannte Dendrit-Strukturen bildete, die zu einem Kurzschluss führen konnten – eine Gefahrenquelle. «Wir versuchen nun, einen Weg zu finden, sodass keine Dendriten wachsen können», sagt Trabesinger. Dazu testen die Forschenden unter anderem unterschiedliche Elektrolytlösungen. Denn je nach Zusammensetzung des Lösungsmittels wird mehr oder weniger Lithium in der Batteriezelle abgelagert. «Damals war es so, als würde man mit geschlossenen Augen arbeiten, im Gegensatz zu den Methoden, die wir heute zur Verfügung haben», sagt die Chemikerin.

Begeistert zeigt sie am Computerbildschirm Aufnahmen, die an der ICON-Strahllinie mit dem Neutronenmikroskop der Grossforschungsanlage SINQ des PSI gemacht wurden. Die Bilder zeigen, wie sich während der Ladezyklen der Batterie das Lithiummetall in der Elektrolytlösung in der Zelle ablagert und wieder verschwindet oder als sogenanntes «totes» Lithium zurückbleibt. «Wir wollen

verstehen, wie man dieses tote Lithium möglichst stark reduziert, da es nicht mehr gebraucht werden kann und auch ein Sicherheitsrisiko ist, weil sich daraus die Dendriten bilden», sagt Trabesinger.

Das Interesse der Industrie an dieser Forschung ist gross. «Gegenwärtig haben wir zwei industrielle Projekte, die von Innosuisse gefördert werden, und wir verhandeln mit mehreren Firmen über weitere Projekte und Arten der Zusammenarbeit», sagt Trabesinger. In einem anderen Projekt sucht ihre Gruppe nach einem neuen Material, mit dem sich die Energiedichte von Natrium-Ionen-Batterien erhöhen lässt. Natrium ist einfacher erhältlich als Lithium; es lässt sich beispielsweise aus Meersalz gewinnen. Doch noch haben die Natriumbatterien eine geringere Leistung als diejenigen aus Lithium.

#### Nachhaltige Alternative zu Plastik

Der Ersatz von seltenen, teuren oder umweltschädlichen Materialien sei allgemein ein wichtiges, aktuelles Thema der Materialwissenschaften, unterstreicht Frithjof Nolting. Forschende arbeiten deshalb daran, Materialien zu finden, die in ihrer Herstellung und Anwendung energieeffizient sind und die sich wiederverwenden lassen. Marianne



## Energie besser speichern

Chemikerin Sigita Trabesinger erforscht am PSI unter anderem, wie sich Akkus als Stromspeicher optimieren lassen – zum Beispiel, indem man die Bildung sogenannter Dendriten zwischen den Elektroden verhindert. Diese können sogar gefährliche Kurzschlüsse verursachen.

Liebi, Leiterin der PSI-Gruppe Struktur und Mechanik neuer Materialien sowie Assistenzprofessorin an der ETH Lausanne (EPFL) ist an einem Projekt beteiligt, in dessen Rahmen ein neues Verpackungsmaterial als Alternative zu Plastik entwickelt wird. Rohstoff ist eine Art Zellulose, die chemisch so modifiziert wird, dass sie sich formen lässt, wenn man die Temperatur erhöht. Es handelt sich also um ein sogenanntes thermoplastisches Produkt. Das Projekt wird vom schwedischen Staat und fünfzehn Industriepartnern finanziert, darunter Tetra Pak.

«Wir untersuchen mit Röntgenmethoden am PSI die Struktur der Materialproben», sagt die Materialwissenschaftlerin und zeigt eine kleine Testplatte aus dem neuen Werkstoff. Je nachdem, wie die thermoplastische Zellulose aufgeheizt, gegossen und abgekühlt wurde, entstehen unterschiedliche Strukturen, die wiederum eng mit den mechanischen Eigenschaften verbunden sind. So darf das neue Material beispielsweise nicht zu spröde sein. Die Strukturbestimmungen mithilfe des Röntgenlichts, zum Beispiel an der cSAXS-Strahllinie der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS, zeigen, ob die Vorgaben erfüllt werden können.

### Das Problem mit dem Milchdeckel

Bereits in einem früheren Projekt untersuchten Liebi und ihr Team Milchpackungen aus herkömmlichem Kunststoff. «Wir alle wissen, wie mühsam es ist, wenn man die Lasche am Verschluss abreisst, sich der Deckel aber nicht öffnen lässt», sagt sie. Um diese Öffnung zu verbessern, führte die Herstellerfirma Tetra Pak Simulationen durch, bevor sie neue Produktionsmaschinen baute. Doch diese Berechnungen gingen von uniformen Materialeigenschaften aus, die nicht der Realität entsprachen. «Wir haben die Nanostruktur der Milchdeckel angeschaut und so zusätzliche, wichtige Informationen geliefert, mit denen die Firma ihre

Simulationen füttern und verbessern konnte», erklärt die Forscherin.

Sie werde oft gefragt, ob es sich denn lohne, so viel Forschung in etwas so Alltägliches zu stecken, erzählt Liebi. «Wenn man sich aber überlegt, wie viele Milchpackungen weltweit täglich gebraucht werden, so kann eine kleine Verbesserung wie beispielsweise etwas weniger Plastik für die Produktion einen grossen Effekt haben.» Viele Gegenstände in unserem Alltag seien voll von faszinierender Physik und hoch entwickelten Materialien, bestätigt Frithjof Nolting. Neben der Entwicklung neuer Werkstoffe wird aber auch die Verbindung von Materialforschung und Digitalisierung immer wichtiger, zum Beispiel beim sogenannten Advanced Manufacturing. «Für diesen Bereich liefern wir ebenfalls wichtige Erkenntnisse», sagt Nolting und führt zu einer weiteren Strahllinie der SLS, an der das 3-D-Drucken von Metallen untersucht wird – «ein unglaublich spannendes Gebiet», so Nolting. Mit diesem Verfahren lassen sich sehr komplexe Bauteile produzieren, zum Beispiel für Turbinen und Kompressoren oder chirurgische Instrumente. An den Forschungsarbeiten am PSI in diesem Bereich sind denn auch zahlreiche Firmen interessiert, darunter die Unternehmen Oerlikon und ABB sowie die Schweizer Uhrenindustrie.

### Miniatrurdrucker im Röntgenstrahl

Mit einem eigens entwickelten, kleinen Drucker lässt sich der Herstellungsprozess vor Ort – in situ – an dieser MicroXAS genannten Strahllinie sowie an der Material-Science- und Tomcat-Strahllinie mit Röntgenlicht untersuchen. Das verwendete Verfahren heisst Laser-Pulverbettfusion. Dabei wird das Metall als feines Pulver auf eine Bauplatte aufgetragen, ein Hochleistungslaser, der bis auf einen Zehntelmillimeter fokussiert ist, fährt über das Pulver, schmilzt es und bringt es so in die gewünschte Form, in der es dann aushärtet. Es folgt die nächste

dünne Pulverschicht, die der Laser wiederum schmilzt. So wächst das Bauteil Schicht für Schicht. «Bei diesen Experimenten schauen wir, was auf atomarem Niveau mit der Kristallstruktur des Metalls passiert», sagt PSI-Physiker Steven van Petegem, der den miniaturisierten Drucker mitentwickelt hat.

Ein Detektor zeichnet das Röntgensignal auf. Er ist eine Spezialentwicklung der PSI-Detektorgruppe und arbeitet besonders schnell. Das ist auch nötig, denn der Laser bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von bis zu einem Meter pro Sekunde über das Pulverbett. Zudem heizt der Laser das Metall auf 2000 bis 3000 Grad Celsius, danach kühlt es blitzschnell auf Raumtemperatur ab, mit einer Kühlungsrate von bis zu zehn Millionen Grad pro Sekunde. Deshalb muss die Fülle an Informationen schnell gesammelt werden. Die Experimente zeigen: Dieser sehr komplexe Prozess kann zur Bildung von unerwünschten Defekten wie Poren und Rissen führen oder unerwartete Phasenumwandlungen zur Folge haben, die zu unvorhersehbaren Materialeigenschaften führen können.

«Nur die genaue Kenntnis der mikrostrukturellen Entwicklung während dieses Herstellungsprozesses ermöglicht es, die notwendigen Anpassungen vorzunehmen, um diese Defekte zu vermeiden», sagt van Petegem. «Mit dem 3-D-Drucker können wir aber auch bestimmte Mikrostrukturen erzeugen, die sich mit herkömmlichen Verfahren nicht herstellen lassen.» Drückt man bestimmte Stellen mit dem Laser schneller oder langsamer, wird das Material lokal härter oder weniger spröde. So lassen sich neuartige Bauteile herstellen, die sich in der Anwendung optimal verhalten. «Wir sind momentan dabei, zu verstehen, was bei diesen 3-D-Druckprozessen geschieht», sagt van Petegem. Dabei helfen nicht nur die Untersuchungen an der SLS, sondern auch Messungen, die an der Schweizer Spallations-Neutronenquelle SINQ durchgeführt werden.

### Bauteil im Belastungstest

«Der Vorteil der Neutronen ist, dass wir damit tiefer ins Material eindringen können als mit den Röntgenstrahlen», sagt Markus Strobl, Leiter der PSI-Gruppe Angewandte Materialien. «Wir können an der SINQ durch zentimeterdicke Metallteile blicken, die beispielsweise für den Maschinenbau verwendet werden, und sehen, was im Inneren passiert.» So untersuchen die Forschenden mithilfe der Neutronen, wie sich im 3-D-Druck hergestellte Proben unter Belastung verhalten. «Wir sind das einzige Institut, an dem man Bauteile im Neutronenstrahl nicht nur in eine Richtung spannen oder drücken, sondern in zwei Richtungen komplexe Ladebedingungen herstellen kann», erklärt Strobl.

Die Messungen zeigen, wie sich unter der Beladung die Kristallstruktur und damit die mechanischen Eigenschaften des Materials verändern. Während das eine Kristallgitter eher nachgibt, ist ein anderes zwar fest, zerbricht jedoch, wenn die Ladung zu gross ist. «Insbesondere mit dem 3-D-Druck kann man solche Eigenschaften innerhalb eines Bauteils variieren und so den Ansprüchen der späteren Anwendung des Bauteils genau anpassen, wenn man die charakteristischen Materialeigenschaften hinreichend versteht», so Strobl. Advanced Manufacturing zählt zu den strategischen Forschungsbereichen, die der ETH-Rat als gesellschaftlich besonders relevant ausgewählt hat. In diesem Rahmen fördert er die entsprechenden Forschungsarbeiten am PSI und unterstützt sie finanziell zu einem wesentlichen Teil.

«Unsere Stärke in der Materialforschung sind die Grossforschungsanlagen und die Bildgebung sowie die Streuung und Spektroskopie, die wir damit durchführen können», sagt Nolting. Damit lassen sich die Strukturen und Defekte in den Materialien mit vielen verschiedenen Techniken sichtbar machen und grundlegende Erkenntnisse über die Materialeigenschaften gewinnen. «Wir können aber auch Proben herstellen und Materialien mit zusätzlichen Techniken charakterisieren», so der Physiker. Zudem gebe es am PSI exzellente Teams zum Beispiel für die Entwicklung von Detektoren, die Automatisierung, den Bau von komplexen Instrumenten und die Analyse grosser Datenmengen. «Wir haben ein enorm grosses Portfolio an Wissen, sowohl in den wissenschaftlichen als auch technischen Bereichen am PSI, das man braucht, um die Fragen anzugehen, die sich heute in den Materialwissenschaften stellen.» ♦

## Wissen macht das Leben besser

Marianne Liebi, Leiterin der Gruppe Struktur und Mechanik neuer Materialien am PSI und Tenure-Track-Assistenzprofessorin an der EPFL erforscht unter anderem, wie man Materialien alltäglicher Produkte verbessern kann. So gelang es ihr, durch bessere Kenntnis der Nanostruktur der Deckel von Milchverpackungen, deren Produktion zu optimieren.



«Eine kleine Verbesserung wie etwas weniger Plastik für die Produktion kann einen grossen Effekt haben.»

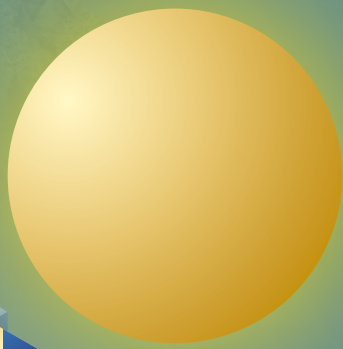
PSI-Forscherin Marianne Liebi



# Tiefe Einblicke und harte Tests



Das weltweit einmalige Ensemble an Forschungsanlagen auf dem Areal des PSI bietet Forschenden und der Industrie die Möglichkeit, Wissen zu gewinnen und damit neue Materialien für Produkte oder deren Herstellung zu entwickeln und zu testen.



1

## Die Schweizer Forschungsinfrastruktur für Teilchenphysik CHRISP

Teilchenbeschleuniger sind zentrale Bestandteile des PSI. Mit ihrer Hilfe werden Teilchen gewonnen, die für grundlegende physikalische Experimente genutzt werden. Mit Teilchenstrahlen aus Pionen, Myonen, Neutronen, Protonen und Elektronen untersuchen die Forschenden, wie unser Universum aufgebaut ist. An CHRISP bestimmen sie fundamentale Naturkonstanten mit höchster Präzision und suchen nach Abweichungen im gängigen Standardmodell der Teilchenphysik. Sie entwickeln und testen zudem Detektoren für Experimente am PSI, für das europäische Forschungszentrum CERN in Genf und für Weltraummissionen. So entwickelten Forschende des PSI Komponenten für die Raumsonde Solar Orbiter (siehe Abbildung), die das Wissen über unsere Sonne vermehren wird, oder für die Jupiter-Mission JUICE, die das System des Gasplaneten erkunden wird.

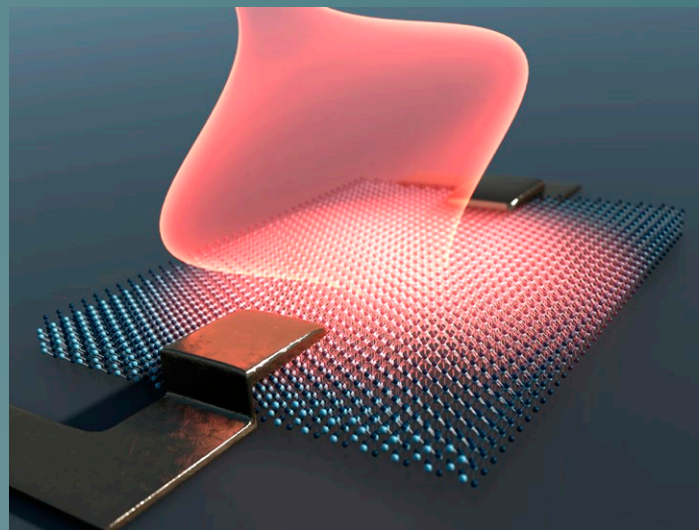
Weitere Informationen: <https://psi.ch/de/node/43472>

2

## Der Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL

Im SwissFEL erzeugen beschleunigte Elektronen intensive Blitze aus Röntgenlicht in Laserqualität. Damit lassen sich extrem schnelle Vorgänge in Materialien auf Atom- oder Molekülbasis Schritt für Schritt wie mit einer Hochgeschwindigkeitskamera filmen. So konnte ein internationales Team zeigen, wie Licht die Eigenschaften von Festkörpern grundlegend verändern kann und wie diese Effekte für zukünftige Anwendungen genutzt werden können. Dabei wurde ein quasi-zweidimensionaler Kristall zwischen Kontakten durch einen Laserpuls angeregt (siehe Abbildung). Die physikalischen Eigenschaften des Kristalls können sich auf ultrakurzen Zeitskalen im Femtosekundenbereich dramatisch verändern. Die Erkenntnisse ermöglichen es, besser zu verstehen, welche Kräfte Elektronen dazu bringen, einen Supraleiter zu bilden – also Materialien, die Strom ohne Wärmeverluste leiten und fantastische Magnete sind.

Weitere Informationen: <https://psi.ch/de/node/18788>





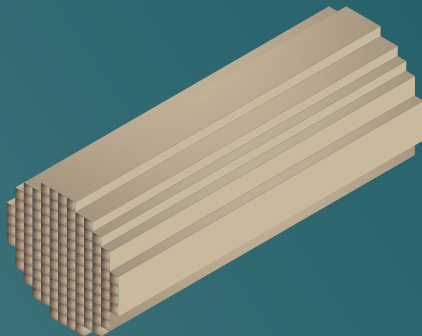


3

### Die Neutronenquelle SINQ

Mit Neutronen der SINQ lassen sich magnetische und supraleitende Eigenschaften von Materialien für neue elektronische Bauteile und Speichermedien untersuchen, aber auch archäologische Gegenstände durchleuchten. Metalle sind für Neutronen beinahe durchsichtig. Teile, die Wasserstoff enthalten, zeigen sich hingegen besonders deutlich. Unter anderem konnten Forschende damit das Geheimnis einer optimalen Geigen-Lackierung lüften, um einerseits idealen Schutz und andererseits hervorragende Klangeigenschaften zu erreichen.

Weitere Informationen: <https://psi.ch/de/node/28454>

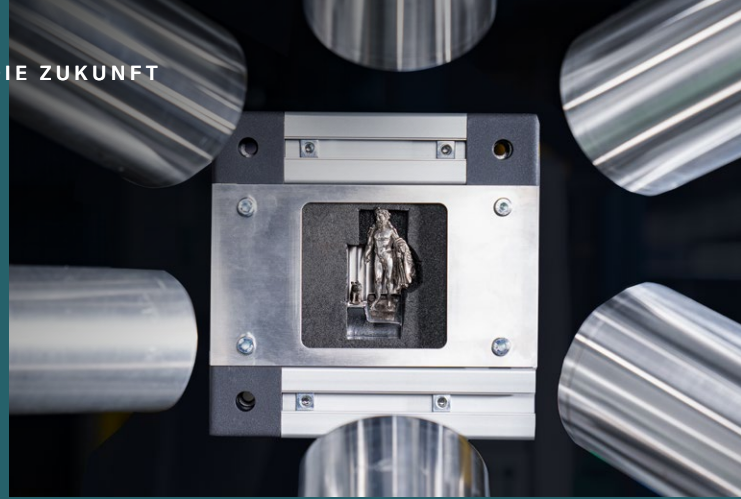


5

### Die Energy-System-Integration-Plattform ESI

Das PSI nutzt die ESI-Plattform, um seine vielfältige Expertise in der Energieforschung zusammenzuführen und zu testen. Das unmittelbar Machbare ist ebenso im Blick wie die Einbettung der Ergebnisse in die Entwicklung von Szenarien für mögliche künftige Energiesysteme. Das soll dabei helfen, die Energiestrategie 2050 des Bundes umzusetzen. Unter anderem soll der Energieverbrauch gesenkt werden, neue erneuerbare Energien wie Solarenergie, Windkraft und Energie aus Biomasse sollen ausgebaut und bestehende Ressourcen besser genutzt werden. Dafür entwickeln die Forschenden des PSI beispielsweise neue Verfahren und Materialien. So haben sie einen neuen Katalysator für die Reinigung von Abgasen aus Erdgasmotoren entwickelt (siehe Abbildung). Im Unterschied zu bisherigen Katalysatoren ist er auch bei niedrigen Temperaturen sehr aktiv und bleibt es über lange Zeit. So lässt sich Erdgas sauberer und klimaschonender verbrennen.

Weitere Informationen: <https://psi.ch/de/node/18743>

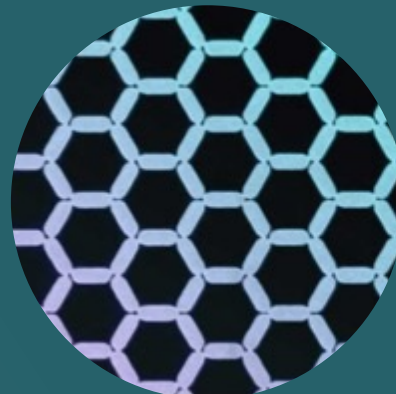


4

### Die Myonenquelle SpS

Wird der Strahl schneller Protonen aus dem Beschleuniger auf zwei Kohlenstoffringe geleitet, entstehen Myonen. Mit diesen elektrisch geladenen Elementarteilchen kann man Magnetfelder im Innern von Materialien lokal bestimmen oder zerstörungsfrei analysieren, aus welchen chemischen Elementen eine Probe besteht. Das PSI bietet weltweit einzigartige Experimentiermöglichkeiten mit langsamen Myonen, mit denen man Magnetfelder in Anordnungen dünner Materialschichten messen kann. Mit einem besonders präzisen Messverfahren konnten Forschende unter anderem die genaue Zusammensetzung einer Silberlegierung analysieren, aus der eine antike Herkules-Figur (siehe Abbildung) gegossen wurde.

Weitere Informationen: <https://psi.ch/de/node/28451>



6

### Die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS

Im kreisrunden Gebäude der SLS bewegen sich Elektronen mit beinahe Lichtgeschwindigkeit und emittieren Röntgenlicht, das besonders intensiv und stark gebündelt ist. Mit seiner Hilfe gelang es Forschenden zum Beispiel, erstmals zu beobachten, wie sich winzige Magnete in einer speziellen Anordnung aufgrund von Temperaturänderungen ausrichten. Der Einblick in die Vorgänge innerhalb von sogenanntem künstlichem Kagome-Spin-Eis (siehe Abbildung) könnte eine wichtige Rolle bei der Entwicklung neuartiger Hochleistungsrechner spielen. Mit dem Projekt SLS 2.0 erhält die Anlage ein Upgrade, um künftig noch bessere Forschung zu ermöglichen.

Weitere Informationen: <https://psi.ch/de/node/28439>

# Fingerspitzengefühl für feinste Strukturen

In unserem digitalen Zeitalter geht der Fortschritt einher mit der Miniaturisierung. Um alles immer kleiner zu machen, müssen Materialien mit neuen Verfahren hergestellt und bearbeitet werden. Im PSI-Labor für Nano- und Quantentechnologien entwickeln Forschende innovative Techniken der Mikro- und Nanofabrikation. Damit lassen sich beispielsweise die Fertigung von Mikrolinsen für Smartphones verbessern oder Bausteine für Quantencomputer herstellen.

Text: Barbara Vonarburg

Zur Herstellung von Mikrochips wird seit Jahrzehnten ein Verfahren verwendet, das Lithografie heisst. «Lithos» bedeutet in Altgriechisch Stein, «graphein» steht für schreiben. Der Stein ist in der Mikrotechnik eine Siliziumscheibe, die man mit einem Fotolack beschichtet. Darauf schreibt man mit Licht das Muster der Leiterbahnen des Chips, sodass ein Teil des Lacks abgelöst werden kann und dort das Silizium für den darauffolgenden Prozessschritt freigelegt wird. Inzwischen wurde dieses Lithografie-Verfahren so weiterentwickelt, dass sich damit winzige Strukturen für verschiedenste Anwendungen herstellen lassen. «Hier in unserem Reinraum haben wir Werkzeuge, mit denen wir sehr kleine Strukturen schreiben können, die nur einige zehn Nanometer, also Millionstelmillimeter gross sind», sagt Kirsten Moselund. Sie leitet das Labor für Nano- und Quantentechnologien, das den Reinraum am PSI betreibt, und ist Professorin für Elektro- und Mikrotechnik an der ETH Lausanne (EPFL).

Während die Industrie zur Produktion von Mikrochips ultraviolettes Licht einsetzt, bei dem man das ganze Muster einer Schablone, der sogenannten Maske, auf einmal belichtet, verwenden die Forschenden am PSI für die winzigsten Strukturen einen Elektronenstrahl. «Damit erzielen wir eine viel höhere Auflösung», erklärt Moselund. «Weil man bei der Elektronenstrahl-Lithografie aber nur mit einem einzigen Strahl schreibt, ist diese viel langsamer als die UV-Lithografie und wird deshalb heute nicht für die Massenfertigung von Chips verwendet; für die Herstellung der Masken und in der Forschung wird sie allerdings häufig gebraucht.» Das Ergebnis ist dasselbe, nämlich eine strukturierte Lackschicht, die nur einen Teil des darunterliegenden Materials vor einem Ätzangriff schützt. So kann man die Nanostrukturen zum Beispiel auf Silizium, aber auch auf Glas, Metall, Saphir oder sogar Diamant übertragen. Feine Diamantgitter, die auf diese Weise im PSI-Reinraum hergestellt werden, dienen

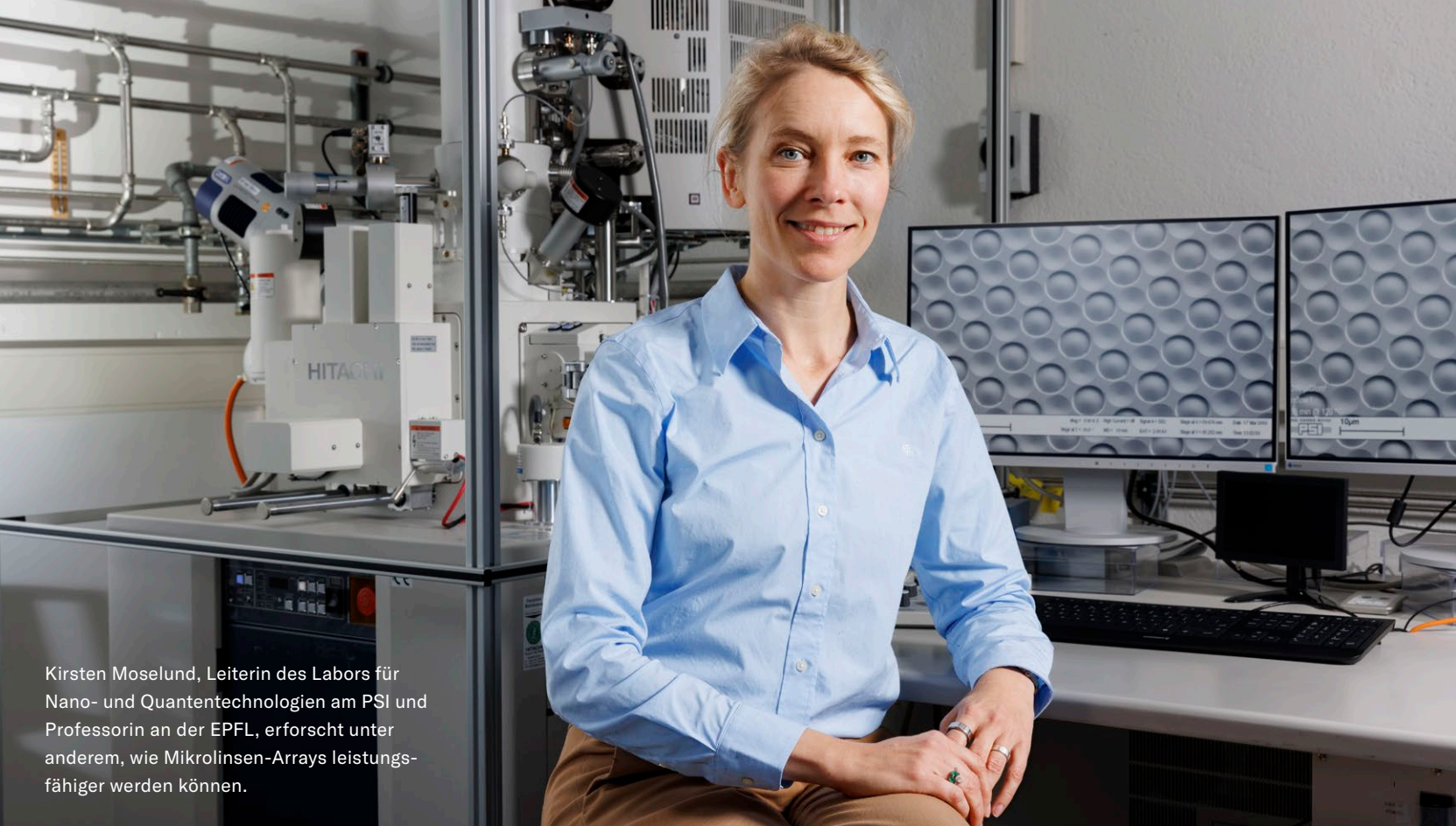
zur Beugung und Fokussierung der Röntgenstrahlen an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS.

Das weiterentwickelte Lithografie-Verfahren ermöglicht aber nicht nur die Nanostrukturierung von Materialien, sondern führt buchstäblich in eine neue Dimension. «Die gewöhnliche Lithografie, mit der man Mikrochips herstellt, ist schwarz-weiss, das heisst, man schreibt damit ein zweidimensionales Muster», erklärt Moselund. «Besonders spannend ist, dass man mit Lithografie nun auch 3-D-Strukturen erzeugen kann.» Man nennt die Methode Graustufen-Lithografie. Das gelingt einerseits mit dem Elektronenstrahl, doch schneller geht es mit einem Laser.

## Allgegenwärtige moderne Mikrooptik

Bei der Graustufen-Lithografie bestrahlt der Laser den Fotolack mit unterschiedlicher Lichtintensität und erzeugt so verschiedene Belichtungs- respektive Graustufen, die ein dreidimensionales Relief bilden. «Mit dieser Technik kann man beispielsweise direkt eine Linse schreiben, die dann aus dem Fotolack, also einem Kunststoff, besteht», erklärt die Laborleiterin. «Man kann das Relief aber auch wegätzen und erhält dann im darunterliegenden Material eine runde Struktur wie eine Linse.» Ein wichtiges Anwendungsgebiet der Graustufen-Lithografie ist die moderne Mikrooptik, die heute allgegenwärtig ist. So stecken in jedem Smartphone oder Tablet mehrere Mikrolinsen. In der Medizin werden Mikro-Optiksysteme in der minimalinvasiven Chirurgie eingesetzt. In Augmented-Reality-Brillen lenken winzige Projektionsoptiken die Information ins Auge. In Autoscheinwerfern verbessern Mikrolinsen-Arrays die Qualität und Steuerung des Lichtstrahls.

Die direkte Herstellung solcher Mikrolinsen mit Graustufen-Lithografie allein wäre aber zu aufwendig und teuer. Für die Massenfertigung kann dieses



Kirsten Moselund, Leiterin des Labors für Nano- und Quantentechnologien am PSI und Professorin an der EPFL, erforscht unter anderem, wie Mikrolinsen-Arrays leistungsfähiger werden können.

Verfahren mit einem zweiten kombiniert werden: der sogenannten Nanopräge-Lithografie. Helmut Schiff, Leiter der PSI-Gruppe für fortgeschrittene Nanofabrikation ist einer der Pioniere dieser Methode. Er erklärt: «Will man grosse Stückzahlen produzieren, braucht man eine Replikationstechnik – wie in der Küche, wenn man Guetzi bäckt. Auch da kann man nicht jedes Einzelne ausschneiden, sondern man braucht Stanz- und Prägetechniken.» Mithilfe der Graustufen-Lithografie lässt sich ein präziser Stempel herstellen, mit dem sich die 3-D-Strukturen in ein gewünschtes Material abformen lassen.

### So ähnlich wie beim Waffelbacken

Schiff vergleicht den Vorgang erneut mit Küchentechnik. «Man geht ähnlich vor wie bei der Herstellung von Waffeln.» Man erhitzt das zu prägende Material, drückt den Stempel hinein, das Relief überträgt sich und bleibt erhalten, wenn das Material wieder abgekühlt wird. So lassen sich aus einem Original eine grosse Anzahl präziser Kopien herstellen. Doch die Technik hat ihre Tücken. «In der Küche muss man den Teig so gut im Griff haben, dass er die Form ausfüllt und in einer bestimmten Zeit schön gleichmässig gebacken wird», erklärt der Wissenschaftler. «Dann muss man das Waffeleisen wieder öffnen und das Backgut ablösen können, ohne dass es haftet. Dafür sorgt oft eine Teflonschicht und etwas Öl.»

### Glatte Oberflächen

Schiffs Team gelang es, für die Nanopräge-Lithografie besonders dünne Antihafschichten zu entwickeln und zudem einen gravierenden Nachteil der Graustufen-Lithografie zu beheben: Die Originalstrukturen und auch die daraus resultierenden Linsen besitzen eine raue Oberfläche, was zu unerwünschten Streu- und Blendeffekten führen kann. «Wir haben eine Methode gefunden, wie sich diese Rauigkeit nachträglich glätten lässt, ohne dass die Oberfläche berührt wird», sagt Schiff. Dazu bestrahlen die Forschenden die Oberfläche mit UV-Strahlung und schmelzen sie später selektiv. «Das ist ähnlich, wie wenn man Crème brûlée zubereitet, indem man mit einem Gasbrenner den Zucker auf der Crème anbrutzelt», so Schiff.

Das Fazit des Forschers: «Wir machen also nicht direkt die Smartphone-Kameras besser, sondern wir entwickeln neue Techniken mit einem Kniff mehr und zeigen den Kollegen in der Industrie, wie man bestimmte Prozesse besser verstehen und erweitern kann. Dies ist möglich, weil wir offener an die Probleme herangehen und uns immer gleich fragen, warum etwas funktioniert oder eben nicht; das ist unsere Materialforschung.» So profitierte beispielsweise die auf Smartphone-Kameras spezialisierte Firma Ams-Osram in Rüslikon von den Erkenntnissen der PSI-Forschenden. Doch Mikrolinsen werden nicht nur in Handys, sondern zunehmend auch in der Autoindustrie eingesetzt.



Mikrolinsen-Arrays finden vielfältigen Einsatz in Technik und Forschung. Mit ihrer Hilfe lassen sich Beleuchtungsstrahlengänge optimieren, zum Beispiel in Handy-Kameras.

So erhielt SUSS MicroOptics in Neuenburg vom Autohersteller BMW den Auftrag, für dessen Luxusmodelle Projektionsoptiken herzustellen, die auf Knopfdruck am Autoschlüssel einen Lichtteppich erzeugen, der das Einsteigen bei Dunkelheit erleichtert. Für die Serienproduktion der Linsen musste die Schweizer Firma ihren früheren, komplizierten Produktionsprozess durch die effizientere Nano-*prä*-Lithografie ersetzen.

Dieses Verfahren eignet sich aber nicht nur zur Herstellung von Mikrolinsen. Denn *prägt* man auf ein Material bestimmte Strukturen, lassen sich dadurch auch dessen Haftung und andere mechanische Eigenschaften verändern. «Wir können fast alle Materialien *prä*gen», sagt Schiff und erwähnt als Beispiel Zellulose und eine Zusammenarbeit mit der Universität Basel. Die Basler Forschenden entwickeln biokompatible Elektroden, die dereinst als medizinische Implantate in das Gehirn oder das Rückenmark eingesetzt werden sollen, und verwenden dafür ein Material auf Zellulosebasis. Dieses muss biegsam sein, Wasser aufnehmen können und sich dem Körpergewebe gut anpassen. Um dem Material die gewünschten Eigenschaften zu verleihen, *prä*gte das PSI-Team auf die Oberfläche der Zellulose ein feines Muster.

### Hightech und Handarbeit

«Wir schauen uns hier neue Materialien, Komponenten und Herstellungsverfahren wie die Graustufen-Lithografie an und versuchen zu verstehen, wie die Physik dahinter funktioniert», sagt Kirsten Moselund, während sie zuschaut, wie im Reinraum ein Mitarbeiter im Schutzanzug an einem Mikrochip arbeitet und dabei immer wieder auf eine Stoppuhr blickt. Auch sie zieht einen Vergleich zum Kochen: «Wir entwickeln ja immer Neues, verwenden dazu vielleicht etwas mehr oder weniger eines bestimmten Materials und haben ein Gespür dafür, wenn es gerade reicht. Vieles ist Handarbeit und braucht sehr viel Fingerspitzengefühl.» Und dies, obwohl man die Strukturen gerade nicht anfassen darf.

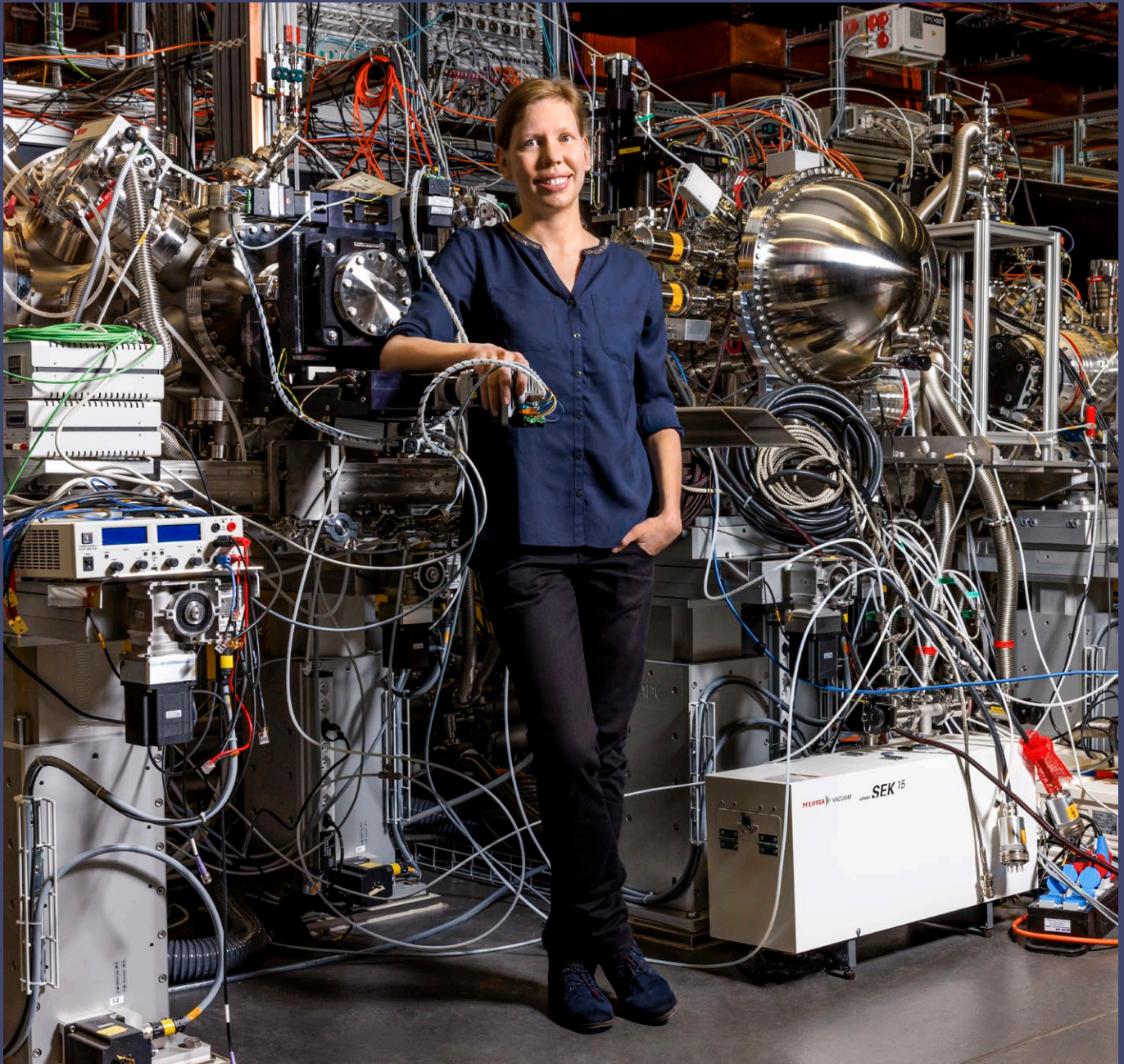
Das gilt auch für die Herstellung von Bausteinen für neuartige Quantencomputer, die im Quantum-

Computing-Hub entwickelt werden. Dieses im vergangenen Jahr vom PSI und der ETH Zürich gegründete Zentrum ist dem Labor für Nano- und Quantentechnologien angegliedert und wird ebenfalls von Moselund geleitet. «Wir haben zwei Quantengruppen, die auf Konzepte mit sogenannten supraleitenden Qubits setzen und dazu in unserem Reinraum arbeiten.» Qubits sind die Basis jedes Quantencomputers. Im Gegensatz zu den herkömmlichen binären Bits können Qubits gleichzeitig mehrere Zustände annehmen und werden in Zukunft die Lösung von mathematischen Problemen ermöglichen, die bisherige Supercomputer überfordern. Für die praktische Realisierung der Qubits gibt es mehrere Möglichkeiten. Eine davon ist die Supraleitung, bei der Strom verlustfrei geleitet wird. Die Qubits werden dabei als sogenannte Josephson-Kontakte aufgebaut.

### Mit verschiedenen Materialien spielen

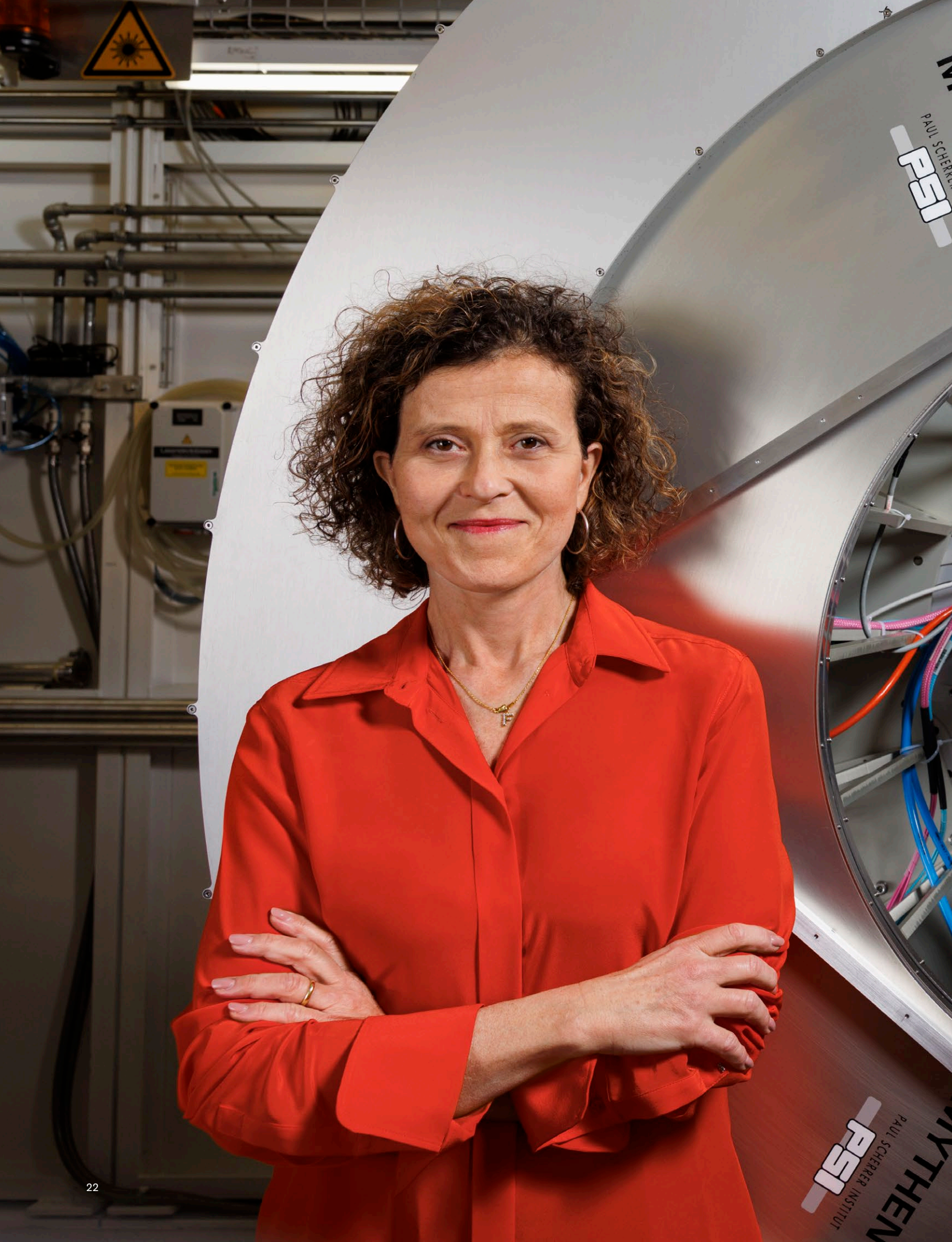
Ein Josephson-Kontakt besteht aus zwei dünnen, supraleitenden Metallschichten, zwischen denen eine noch dünnere, nicht leitende Oxidschicht steckt. «Man kann dafür verschiedene Materialien einsetzen», erklärt Moselund. Heute wird als Metall meist Aluminium verwendet. Doch dieses muss auf eine sehr tiefe Temperatur von minus 273,16 Grad Celsius abgekühlt werden, also bis nahe an den absoluten Nullpunkt, damit es supraleitend wird. Bei anderen Metallen wie Niob oder Tantal setzt die Supraleitung bei etwas höheren Temperaturen ein. «Es könnte sich lohnen, verschiedene Materialien zu untersuchen und damit zu spielen», sagt die Forscherin. Auch die Struktur der Oxidschicht, die beispielsweise aus Aluminium- oder Magnesiumoxid besteht, spielt eine wichtige Rolle. Defekte in dieser Schicht können die Funktion der supraleitenden Qubits entscheidend stören.

Die Laborleiterin freut sich deshalb auf den neuen, viel grösseren Reinraum, der zurzeit im Innovationspark Park Innovaare neben dem PSI gebaut wird. Dort soll mithilfe modernster Geräte die Herstellung der Josephson-Kontakte und die Forschung auf diesem Gebiet ausgebaut werden. «Mit den neuen Instrumenten werden wir die Produktionsprozesse besser kontrollieren können», erklärt die Forscherin. Aber auch die bereits bestehende Kooperation mit der Industrie soll verstärkt werden. Das PSI habe mit seinen Fachleuten die Chance, neue Technologien zu etablieren. «Das macht es für uns und die Firmen spannend, zusammenzuarbeiten, auch wenn man die Forschungsergebnisse nicht schon morgen anwenden kann», sagt Moselund. «Aber es ist wichtig, dass wir uns darüber Gedanken machen, was wir in Zukunft brauchen werden, und Forschung mit Weitsicht betreiben.» ♦



## Nanoteilchen in einem neuen Licht

Kirsten Schnorr ist Physikerin und Gruppenleiterin an der PSI-Grossforschungsanlage SwissFEL, dem Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlaser. Mit ihrer Gruppe hat sie die Experimentierstation Maloja entworfen, aufgebaut und in Betrieb genommen. Heute erforscht sie dort in einem vom Schweizerischen Nationalfonds mit 1,3 Millionen Schweizer Franken unterstützten Projekt chemische und physikalische Wechselwirkungsprozesse zwischen Nanoteilchen – insbesondere von schweren Elementen – und Röntgenstrahlen. Schwere Elemente wie Gold absorbieren Röntgenstrahlung sehr effizient und ein tieferes Verständnis solcher Prozesse könnte zu einer effektiveren Strahlenbehandlung bei Krebserkrankung führen.



MYTHEN III  
PER INSTITUT

Fabia Gozzo, CEO von Excelsus Structural Solutions, an der Experimentierstation für Pulverdiffraktion in der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Das PSI-Spin-off nutzt diese einzigartige Anlage, um die kristalline Struktur von komplexen Molekülen zu analysieren und leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung von Medikamenten.

## Mit Röntgenlicht zu sicheren Medikamenten

Seit mehr als zehn Jahren unterstützt das PSI-Spin-off Excelsus Structural Solutions Unternehmen der pharmazeutischen oder chemischen Industrie dabei, Arzneimittel genau zu analysieren. Mithilfe der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS am PSI schauen die Forschenden tief in die kristalline Struktur der Medikamente.

Text: Benjamin A. Senn

IN DER SCHWEIZ

Stellen Sie sich ein Stück Eis vor, das auch bei Raumtemperatur nicht schmilzt. In Kurt Vonneguts 1963 erschienenem Science-Fiction-Roman «Cat's Cradle» entdeckt der Protagonist eine solch merkwürdige Substanz. Sie hat dieselbe chemische Zusammensetzung wie Wassereis, bleibt jedoch von Temperaturen über null völlig ungerührt. Die besondere kristalline Anordnung ihrer Atome sorgt für dieses paradoxe Verhalten, welches diese unheimliche Substanz auch noch auf herkömmliches Wasser übertragen kann. Denn sobald das sogenannte «Ice-nine» mit Wasser in Kontakt kommt, gefriert dieses sofort und verwandelt sich ebenfalls in «Ice-nine» – ein fiktives Weltuntergangsszenario, denn eine Berührung mit den Ozeanen würde den blauen Planeten in eine Eiskugel verwandeln.

Auch wenn diese Geschichte frei erfunden ist, basiert «Ice-nine», wie vieles in der Science-Fiction-Literatur, auf einem wissenschaftlichen Phänomen – der sogenannten Polymorphie. Diese bezeichnet die Eigenschaft, dass die kristalline Anordnung der Bausteine einer Substanz in verschiedenen dreidimensionalen Erscheinungsformen vorkommen kann. Änderungen von Zustandsgrössen wie beispielsweise Druck und Temperatur können die Anordnung der Atome verändern und verschiedene polymorphe Formen ineinander umwandeln. Obwohl all diese Formen die exakt gleiche Zusammensetzung haben, können sie unterschiedliche physikalische Eigenschaften aufweisen. So besteht «Ice-nine» wie Wasser aus zwei Wasserstoffatomen und einem Sauerstoffatom, doch seine kristalline Anordnung verhindert, dass es bei Raumtemperatur schmilzt.

In Arzneimitteln kann Polymorphie verheerend sein, denn verschiedene Formen können beispielsweise unterschiedliche Lösungsverhalten aufweisen und vom Körper schlecht oder gar nicht aufgenommen werden – die Wirkung bleibt aus. Wie bei «Ice-nine» kann sich auch hier eine unerwünschte Form ausbreiten und die gesamte Medikamentenproduktion verunreinigen. Um solche Szenarien zu verhindern, bietet Fabia Gozzo, Gründerin und CEO der Firma Excelsus Structural Solutions, seit 2012 mit ihrem sechsköpfigen Team ihre Dienste an und analysiert entsprechende Produkte auf ihre kristalline Struktur.

#### **Von Villigen nach Brüssel und zurück**

Der Hauptsitz von Excelsus befindet sich auf dem Areal West des PSI; ein kleines gemütliches Büro mit sechs Arbeitsplätzen, in der Mitte ein weisser ovaler Sitzungstisch und im Hintergrund ein roter Kühlschrank. Die Stimmung wirkt freundlich und familiär. «Hier planen und analysieren wir für unsere Kunden die Experimente, die wir an der SLS

durchführen», erklärt Fabia Gozzo stolz. Seit 2016 gehört Excelsus zum Park Innovaare, dem Innovationspark in Villigen, dessen neuer Campus ab Ende 2023 bezugsbereit sein wird. Excelsus und weitere innovative Unternehmen und Start-ups arbeiten dann in unmittelbarer Nähe zu den Grossforschungsanlagen des PSI, die sie für ihre Entwicklungen nutzen können.

In Villigen begann auch die Geschichte von Excelsus. 1998 kam Fabia Gozzo ans PSI – die SLS war damals noch eine Baustelle. Als es darum ging, die Experimentierstation für Pulverdiffraktion aufzubauen, übernahm Fabia Gozzo kurzfristig diese Aufgabe – heute zählt diese Anlage zu den besten weltweit. Bereits während dieser Zeit spielte sie mit dem Gedanken, sich selbstständig zu machen und ihre gesammelten Erfahrungen der Pharmaindustrie anzubieten. Als sie nach zwölf Jahren Tätigkeit ihren Job am PSI kündigte und mit ihrer Familie nach Brüssel zog, konkretisierte sich diese Idee und führte schliesslich 2012 zur Gründung von Excelsus.

«Anfänglich arbeite ich allein von Brüssel aus. Das Budget war klein und für Messaufträge fuhr ich jeweils mit dem Auto ans PSI und wieder zurück», erinnert sich Gozzo. Doch mit dem Kundenstamm wuchs auch ihr Team. Mathilde Reinle-Schmitt begann als Postdoktorandin bei Excelsus und arbeitet heute als stellvertretende Direktorin. «Ein Jahr nach Mathilde stiess Mickaël Morin zum Team, welcher 2022 ebenfalls zum stellvertretenden Direktor ernannt wurde. 2017 folgte Pam Whitfield als Leitende Wissenschaftlerin – sie arbeitet momentan von England aus. Ines Collings, welche sich gerade in Mutterschaftsurlaub befindet, und Fanny Costa stiessen 2021 dazu – alles talentierte und erfahrene Forschende, welche Excelsus mit ihrem Knowhow unterstützen.»

Heute arbeitet Excelsus hauptsächlich für Pharmaunternehmen. «Meistens erhalten wir verschiedene Proben eines Medikaments in Form von Pulver», erklärt Mathilde Reinle-Schmitt. Diese Proben stammen beispielsweise aus verschiedenen Produktionsbedingungen oder sie wurden unterschiedlich gelagert – alles Faktoren, welche die kristalline Struktur und damit die Wirksamkeit eines Medikaments potenziell verändern können. «Unser Job ist es, mithilfe der SLS herauszufinden, ob unerwünschte polymorphe Formen in den Proben vorhanden sind.»

#### **Die Stärke der Synchrotron-Röntgenbeugung**

«In der Chemie- und Pharmaindustrie werden meist konventionelle Laborgeräte – sogenannte Laborpulverdiffraktometer – verwendet, um die kristalline Struktur von Stoffen zu analysieren», erklärt Fabia Gozzo. Diese Geräte bestehen prinzipiell aus einer





Das Excelsus-Team: Fanny Costa, Mathilde Reinle-Schmitt und Mickaël Morin (von links nach rechts) vor dem deliveryLAB des Park Innovaare. Ab Ende 2023 wird der neue Innovationspark in Villigen bezugsbereit sein.

Röntgenquelle und einem Detektor. Die Röntgenstrahlung wird beim Eintritt in die Probe vom Kristallgitter gestreut und beim Austritt vom Detektor registriert. Durch die Interaktion der Strahlung mit der Probe lassen sich Informationen über die Kristallsymmetrie sowie über die räumliche Lage der einzelnen Atome gewinnen.

«Solche Laborgeräte eignen sich gut für Routineuntersuchungen», meint Fabia Gozzo. «Doch kleine Mengen von polymorphen Formen in einem Gemisch lassen sich damit nicht mehr unterscheiden.» Deshalb greifen Fabia Gozzo und ihr Team auf die SLS und die hier erzeugte Synchrotronstrahlung – eine spezielle Art von Röntgenstrahlung – zurück. «Die Synchrotronstrahlung der SLS ist rund 500 000-fach intensiver als das Röntgenlicht der besten Laborgeräte. Zusammen mit einer hohen Winkelauflösung lassen sich damit auch kleinste Verunreinigungen detektieren.»

Der für die Messungen genutzte Detektor hat zudem eine Erfassungszeit von nur wenigen Mikrosekunden – dadurch lassen sich die Experimente extrem schnell durchführen, was die Strahlendosis reduziert und die fragilen Moleküle vor etwaigen Schäden durch die Untersuchung schont. Fabia Gozzo erinnert sich: «Ursprünglich konzipierte der PSI-Physiker Bernd Schmidt mit seinem Team den Mythen-Detektor an der SLS als ein Gerät für zeitaufgelöste Messungen – ähnlich wie ein Film im Mikrosekundenbereich.» Gozzo war damals als Wissenschaftlerin am PSI tätig und hatte die Idee, diesen Detektor für strahlensensitive Proben zu

verwenden. «Zusammen mit der Detektorgruppe des PSI führten wir eine Reihe komplexer Kalibrierungen durch – schliesslich hatten wir es geschafft: eine schnelle Erfassungszeit mit einer fantastischen Datenqualität!»

### Ein Mix aus Industrie und Forschung

Als Dienstleister kauft Excelsus die benötigte Strahlzeit für seine Auftraggeber direkt beim PSI ein und kooperiert dabei mit den Forschenden an den Strahllinien der SLS. «Durch unsere enge Zusammenarbeit mit dem PSI sind wir sehr flexibel und können für unsere Kunden einen schnellen und unkomplizierten Zugang zur SLS mit ihren einzigartigen Analysemethoden gewährleisten», erklärt Gozzo.

Das Dienstleistungsportfolio reicht vom Aufspüren von polymorphen Formen über die Unterstützung während der Entwicklung und Produktion von Medikamenten bis hin zur wissenschaftlichen Expertise in Rechtsfällen, in denen Patentfragen oder Medikamentenfälschung behandelt werden. Dabei muss sich das Team ständig dem neuen Stand der Forschung anpassen. Dazu gehört der regelmässige Austausch auf Forschungskongressen ebenso wie das Durchführen eigener Forschungsarbeiten und die Publikation neuer Ergebnisse. «Mit einem Fuss befinden wir uns in der Industrie und mit dem anderen in der Forschung.» Die CEO lächelt: «Und dieser gesunde Mix ist es, was an unserer herausfordernden Arbeit so viel Spass macht.» ♦

# Aktuelles aus der PSI-Forschung

## 1 Autobremsen weiter optimieren

Forschende des PSI und Mitarbeitende des Technologietransferzentrums ANAXAM sowie des Industriepartners Audi Sport haben gemeinsam buchstäblich Licht ins Dunkel gebracht: Mit Neutronen haben sie einen Bremsattel in Aktion durchleuchtet und Potenzial für Optimierungen aufgezeigt. Bei den Experimenten beobachteten sie genau, wie die Bremskolben die Bremsbeläge an die Bremsscheibe drücken und ebenso das Beenden des Bremsvorgangs. Das Experiment wurde an der Strahllinie Neutra der Schweizer Spallations-Neutronenquelle SINQ durchgeführt. Dazu wurde ein Detektor verwendet, der die Neutronen hinter der Versuchsanordnung registriert und letztendlich ein zweidimensionales Bild aus dem Inneren des Bremsattels liefert. Nach einer anschließenden Optimierung der Bremskolben durch den Industriepartner zeigten unter anderem drei Kolben der Bremsattel-Innenseite unter dem Neutronenstrahl ein verbessertes Verhalten, namentlich ein besseres Lüftspiel, sodass beim Lösen der Bremse der Kontakt zwischen Bremsbelag und Bremsscheibe zuverlässig unterbrochen wurde.

Weitere Informationen:  
<https://psi.ch/de/node/55166>

Hydraulikdrücke von bis zu **100** bar ermöglichte die spezielle Versuchsanordnung.

**6** Bremskolben drücken die Bremsbeläge auf die Bremsscheibe.

**0,1** Millimeter beträgt die Optimierung des sogenannten Lüftspiels, die erreicht wurde.



## 2 Medikamente mit Licht an- und abschalten

Mithilfe des Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlasers SwissFEL und der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS haben Forschende des PSI einen Film gedreht, der der Entwicklung einer neuen Art von Medikamenten einen entscheidenden Schub geben könnte. Den Fortschritt erzielten sie auf dem Gebiet der sogenannten Photopharmakologie. Diese Disziplin entwickelt Wirkstoffe, die sich gezielt mit Licht aktivieren oder inaktivieren lassen. Für ihre Untersuchung haben die Forschenden den Wirkstoff Combretastatin A-4 – kurz: CA4 – verwendet, der aktuell in klinischen Studien als Mittel gegen Krebs getestet wird. Er bindet an das Protein Tubulin, aus dem sich sogenannte Mikrotubuli zusammensetzen. Diese bilden quasi das Grundgerüst einer Körperzelle und treiben ausserdem die Zellteilung voran. CA4 destabilisiert die Mikrotubuli und kann so die unkontrollierte Teilung von Krebszellen eindämmen, also das Tumorstadium bremsen. Nach einer chemischen Modifikation wird der Wirkstoff quasi lichtempfindlich und lässt sich so an- und abschalten. Diesen Vorgang beobachteten die Forschenden nun mithilfe der Anlagen des PSI besonders präzise. Die Möglichkeit, photoaktive Wirkstoffe bei der Arbeit zu filmen, eröffnet innerhalb der Medizin die Chance, viele weitere wichtige Erkenntnisse zu gewinnen.

Weitere Informationen:

<https://psi.ch/de/node/55436>

## 3 Flugzeuge nachhaltig antreiben

Das PSI und das Schweizer Start-up Metafuels entwickeln ein neues Verfahren zur Gewinnung von nachhaltigem Flugtreibstoff, einem sogenannten SAF – Abkürzung für Englisch: sustainable aviation fuel. Gemeinsam konzipieren sie nun die Errichtung und den Betrieb einer ersten Pilotanlage auf dem PSI-Areal, um die Technologie zu validieren und sie in naher Zukunft im grossen Massstab kommerziell zu nutzen. Ziel ist es, ein effizientes Verfahren zur Herstellung von kostengünstigem synthetischem Kerosin aus nachwachsenden Rohstoffen zu entwickeln und zu vermarkten. Aus Wasser, erneuerbarem Strom und Kohlendioxid aus nachhaltigen Quellen soll ein hochwertiger Treibstoff entstehen, mit dem sich bereits heutige Flugzeugtypen antreiben liessen – entweder als Beigabe zum fossilen Kerosin oder eventuell sogar als Haupttreibstoff. In Zusammenarbeit mit dem Metafuels-Team haben Forschende am PSI hierfür einen katalytischen Prozess entwickelt, der nicht bloss die fossilen Ausgangsstoffe umgeht, sondern auch eine höhere Selektivität – also das Verhältnis von Ausbeute und Umsatz – sowie eine effizientere Nutzung erneuerbarer Energien als in den bisher eingesetzten SAF-Verfahren erzielt. Die Technologie soll helfen, das Netto-Null-Ziel auch in der Luftfahrt zu realisieren.

Weitere Informationen:

<https://psi.ch/de/node/55853>

## 4 Rätsel des nächtlichen Smogs gelöst

In einem grossen Gemeinschaftsprojekt haben unter anderem Forschende des PSI geklärt, weshalb in der indischen Hauptstadt New Delhi Smog entgegen allen Regeln der Atmosphärenchemie nachts entsteht. Das Team fand heraus, dass der Auslöser für die hohen Feinstaubwerte die Dämpfe sind, die bei der Holzverbrennung entstehen. Das Verbrennen von Holz ist für rund 400 Millionen Menschen in der indischen Ganges-Tiefebene eine gängige Praxis beim Kochen und Heizen. Da es dafür keine strengen Beschränkungen gibt, werden auch andere Dinge als Holz verbrannt, manchmal auch Plastik und andere Abfälle. Bei solchen Bränden entsteht ein Gasgemisch mit unzähligen chemischen Verbindungen. Diese Moleküle sind mit blossen Auge in der Luft nicht zu erkennen, auch nicht in hohen Konzentrationen. Mit Einbruch der Nacht sinkt die Temperatur in New Delhi jedoch so schnell, dass einige der Gasmoleküle kondensieren und sich innerhalb weniger Stunden zu Partikeln von bis zu 200 Nanometern zusammenballen, die als grauer Dunst wahrgenommen werden können.

Weitere Informationen:

<https://psi.ch/de/node/56398>

# Lieblingsgerichte aus aller Welt

GALERIE

Am PSI arbeiten Menschen aus 64 Nationen. Jeder und jede bringt selbstverständlich eigene kulinarische Vorlieben mit. In dieser Galerie können wir zwar nur fünf Forschende mit ihren Leibspeisen präsentieren – und die Auswahl fiel uns schwer. Dennoch kann man sich bereits mit diesen auf eine kleine, geschmackliche Reise rund um den Globus begeben.

Text: Christian Heid



## Mexikanisch

Manuel Guizar Sicaïros leitet die Forschungsgruppe Computergestützte Röntgenbildgebung und arbeitet am PSI in der Grossforschungsanlage Synchrotron Lichtquelle Schweiz sowie als Professor an der EPFL. Seine Gruppe konzentriert sich auf die Entwicklung neuartiger Bildaufnahmemethoden und fortschrittlicher Rekonstruktionstechniken. Sein Lieblingsgericht? Aguachile de camarón. Es ist eine köstliche, würzige, erfrischende und pikante mexikanische Vorspeise. Dafür wird ein in Lateinamerika verbreitetes Verfahren verwendet, bei dem Garnelen in Limettensaft «gegart» werden.

Rezept: <https://psi.ch/de/node/57186#mexikanisch>





## Brasilianisch

Camila Bacellar ist Strahllinien-Wissenschaftlerin und Gruppenleiterin der Alvra-Experimentierstation an der Grossforschungsanlage SwissFEL, dem Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlaser. Sie unterstützt unter anderem Gastwissenschaftlerinnen und Gastwissenschaftler bei der Durchführung ihrer Experimente. Liebend gerne isst sie Pão de queijo: Die Käsebällchen sind in Brasilien weit verbreitet, als Snack oder auch zum Frühstück. Idealerweise wird für die Zubereitung fermentiertes Maniok-Fruchtfleisch, Polvilho azedo, verwendet.

Rezept: <https://psi.ch/de/node/57186#brasilianisch>



## Japanisch

Takashi Ishikawa leitet die Forschungsgruppe Bildung zellulärer Strukturen. Mithilfe der Elektronen-Kryo-Tomografie und -Mikroskopie werden hier Bilder von biologischen Makromolekülen und Organellen erstellt und analysiert. Er hat uns den Mund mit tori no kara-age, frittiertem Hühnchen, wässrig gemacht. Die Fleischstücke werden je nach Vorliebe in Sojasauce, Sake, Ingwer oder Knoblauch mariniert. Beim Karaage-Matsuri-Fest der japanischen Stadt Ōita werden viele verschiedene Variationen dieser Speise angeboten.

Rezept: <https://psi.ch/de/node/57186#japanisch>



## Ungarisch

Fanni Juranyi ist Instrumentenwissenschaftlerin an der Grossforschungsanlage SINQ, der Schweizer Spallations-Neutronenquelle. Sie untersucht Diffusions- und Schwingungsbewegungen in komplexen Materialien und wie diese mit den Materialeigenschaften zusammenhängen. Eines ihrer Lieblingsgerichte ist Lángos, ein Fladenbrot, das in Ungarn sehr beliebt ist. Traditionell wird es einfach mit einer Knoblauchpaste (gepresster Knoblauch, Wasser und Öl) bestrichen und gesalzen. Neben dem traditionellen Lángos gibt es viele Variationen. Zum Beispiel kann man es auch mit saurer Sahne und geriebenem Käse geniessen.

Rezept: <https://psi.ch/de/node/57186#ungarisch>







## Indisch

Kannan Ramachandran ist Wissenschaftler in der Gruppe Energiewirtschaft, die sowohl zum Forschungsbereich Energie und Umwelt als auch zum Forschungsbereich Nukleare Energie und Sicherheit gehört. Seine Forschung konzentriert sich auf die Entwicklung und Anwendung von energieökonomischen Modellen für die Energiepolitik und zur Eindämmung des Klimawandels. Er präsentiert uns Idli, ein klassisches südindisches Gericht, als seine Lieblingspeise. Idli wird insbesondere als Frühstück auf einem Bananenblatt gereicht. Der Teig besteht aus schwarzen Linsenbohnen und Reis, der nach dem Fermentieren zu flachen, runden Küchlein geformt und gedämpft wird. Hinzu kommen als Saucen Sambar auf Basis von Linsen und Tamarinde sowie Kokosnuss-Chutney, dessen Geschmack süß-sauer, aber auch scharf-pikant sein kann.

Rezept: <https://psi.ch/de/node/57186#indisch>

# Schweizer Präzision und griechisches Temperament

Iakovos Barmpadimos berechnet Klimarisiken für die Rückversicherung SCOR. Einen wichtigen Teil der dazu notwendigen Fähigkeiten hat der Atmosphärenphysiker während seiner Promotion am PSI gelernt. «Es war die ideale Vorbereitung auf meinen heutigen Job.»

Text: Jan Berndorff

Die Wolken hängen tief über dem Zürichsee an diesem Tag im Januar. Am Bürkliplatz, um die Ecke vom Züricher Standort der französischen Rückversicherung SCOR, geht es geschäftig zu. Schräg links gegenüber thront das Opernhaus über dem Seeufer. Am entfernten Ufer im Süden blitzt die Sonne durch die dichte Wolkendecke. Bessere Bedingungen wären kaum denkbar, um den Atmosphärenphysiker Iakovos Barmpadimos in Szene zu setzen. Schnell zeigt sich: Der Versicherungsangestellte Barmpadimos, der in seinem Beruf vornehmlich mit Zahlen arbeitet, hat noch andere Talente – zum Beispiel, wenn es darum geht, mit einem Regenschirm Standhaftigkeit am sturmgepeitschten Ufer des Zürichsees zu demonstrieren. Vielseitigkeit ist ihm wichtig. Das nützte ihm schon in der Zeit seiner Promotion am PSI und an der ETH Zürich. Das Selbstbewusstsein beim Vortrag vor Publikum etwa hat er sich dort angeeignet: «Früher war ich eher schüchtern und bei solchen Gelegenheiten sehr nervös. Aber in den vier Jahren, die ich als Doktorand an der ETH Zürich und bei der Forschung am PSI verbracht habe, konnte ich das durch zahlreiche Vorträge ablegen», erinnert er sich. Auch die Fähigkeit, besonders genau zu arbeiten, die er heute für seine Arbeit braucht, um aus den Daten vergangener Klimaschäden und zukünftiger Projektionen realistische Versicherungsprämien zu berechnen, hat er dort weiterentwickelt. Insbesondere das Verteidigen seiner Doktorarbeit sei da eine sehr gute Schule gewesen.

## Katastrophen in der Analyse

Wir gehen zurück zu seinem Arbeitsplatz in dem gläsernen Neubau, den sein Arbeitgeber vor zweieinhalb Jahren mit den rund zweihundertfünfzig Zürcher Mitarbeitenden bezogen hat. Grossraumbüro, dunkle Auslegeware, viele Topfpflanzen, gediegenes, ruhiges Ambiente. Auf Barmpadimos'

Schreibtisch stehen zwei grosse Monitore, auf denen Grafiken zu sehen sind. Rechts eine Karte von Frankreich, auf der im Bereich des Zentralmassivs Bezirke dunkelblau eingefärbt sind. Auf dem linken Monitor sieht man ein Zeitdiagramm, auf dem unter einer wild mäandernden, quer verlaufenden Linie viele unterschiedlich grosse, blaue Flecken zu sehen sind. «Beide Grafiken sind das Ergebnis unserer Arbeit zu einem Kälteeinbruch im April 2021 in Frankreich», erklärt Barmpadimos. Nachdem es dort Ende März mit bis zu fünfundzwanzig Grad Celsius ungewöhnlich warm gewesen war und viele Pflanzen bereits blühten, stürzten die Temperaturen in der Nacht auf den 7. April in wichtigen Anbauregionen wie Burgund und Beaujolais örtlich auf rekordverdächtige minus acht Grad. «Für die Winzer und Obstbauern war das die totale Katastrophe. Sie verloren nahezu ihre gesamte Ernte in jenem Jahr.»

Natürlich waren viele gegen Frostschäden versichert. Doch das Ereignis veranlasste SCOR, die Prämien für die Rückversicherungen, mit denen die Versicherungen für landwirtschaftliche Betriebe ihrerseits Vorsorge vor grossen Schäden treffen, neu zu berechnen. Die Prämien müssen stets an Veränderungen der Umstände angepasst werden. Und in dem Bereich, in dem Barmpadimos tätig ist – Klima-Schadensereignisse – gibt es infolge des Klimawandels entsprechend viel zu tun.

Es galt also, Wetterdaten und Schadensfälle der vergangenen Jahre für diese Region zusammenzutragen, anhand aktueller Klimamodelle Projektionen für die Zukunft anzufertigen und daraus angemessene Prämien zu kalkulieren. Das Problem bei Kältewellen im Frühjahr ist nicht etwa, dass sie sich häufen. Im Gegenteil kommen sie durch die allgemeine Erwärmung sogar seltener vor. Doch die Pflanzen blühen und knospen auch immer früher – teilweise um mehrere Wochen. «Dadurch kommt es trotz insgesamt seltenerem Frost häufiger vor, dass





«Menschen vergessen und verdrängen sehr schnell – bis zur nächsten grossen Katastrophe.»

Iakovos Barmpadimos, Atmosphärenphysiker

Pflanzen erfrieren», sagt Barmpadimos. Das zeige die Grafik auf seinem linken Monitor. «Und das müssen wir natürlich berücksichtigen.»

Sicherlich denke er auch an die Schicksale der betroffenen Landwirtinnen und Landwirte. Und daran, dass es für sie nicht einfacher wird, wenn die Versicherungsbeiträge mit zunehmenden Wetterextremen steigen. Doch das versuche er bei der Arbeit auszublenden. «Im Prinzip haben wir letztlich das gleiche Interesse», sagt er, «nämlich Schäden nach Möglichkeit zu vermeiden.» Darum sei der Anbau von Kulturpflanzen in manchen Regionen, wo das Risiko für Naturkatastrophen immer weiter steigt, irgendwann einfach nicht mehr sinnvoll. Das müssten Betroffene und zuständige Behörden beachten. «Bei Ereignissen, die wie Kälteeinbrüche oder Hochwasser nicht so häufig eintreten, ist es oft schwer, die Menschen davon zu überzeugen. Sie vergessen und verdrängen das sehr schnell – bis zur nächsten grossen Katastrophe.»

### Weltweite Berechnungen

Barmpadimos führt pro Jahr rund fünfzig solcher Prämienberechnungen durch – und zwar weltweit. Er arbeitet auch für Kundschaft – also Versicherungen – in Indien, Pakistan, Deutschland, der Türkei und den USA, hauptsächlich im Bereich Landwirtschaft. Oft reist er dann mit anderen SCOR-Mitarbeitenden zu ihnen, um die Projektergebnisse zu diskutieren und die endgültigen Prämien auszuhandeln.

Ursprünglich studierte er Physik in seiner Heimatstadt Athen. Er spezialisierte sich auf Atmosphärenphysik und Meteorologie. Allerdings überlegte er, dass es in anderen Ländern Europas womöglich leichter sei, eine Anstellung in dem Bereich zu finden. Seinen Master in angewandter Meteorologie absolvierte er daher an der englischen University of Reading. 2007 ging er in die Schweiz, um an der ETH Zürich seinen Dokortitel zu erwerben. Die Forschungsarbeit über Aerosole bei verschiedenen Umweltbedingungen führte er am PSI in der Gruppe Gasphasen- und Aerosolchemie durch, unter Anleitung von Gruppenleiter André Prévôt mit dem Atmosphärenchemiker Urs Baltensperger als Doktorvater. «Iakovos war sehr gut im Programmieren und konnte sich schnell in neue Themen einarbeiten», erinnert sich Prévôt. «Seine offene und herzliche mediterrane Art war eine Bereicherung für die Forschungsgruppe und das Labor.»

Als Barmpadimos in die Schweiz kam, konnte er noch kein Wort Deutsch – geschweige denn Schweizerdeutsch. «Das spreche ich bis heute nicht», sagt der 42-Jährige. «Aber meine Arbeitskollegen am PSI haben mich sehr herzlich aufgenommen und mir geholfen, wo sie konnten – auch jenseits der Arbeit,

etwa bei Behördengängen und Umzug. Die Atmosphäre war wie in einer Familie.»

Man habe nicht nur zusammen gearbeitet, sondern auch Ausflüge in die Berge und Sport gemacht – Barmpadimos war unter anderem Mitglied des PSI-Basketballteams und hat an einigen Turnieren zwischen Forschungseinrichtungen zum Beispiel in Berlin teilgenommen. Überhaupt ist er sehr sportinteressiert. Als glühender Fan seines Heimat-Fussballvereins AEK Athen trifft er sich regelmässig mit rund zwanzig anderen in Zürich lebenden Anhängern und geht mit ihnen auch ins Stadion, wenn AEK mal im Europapokal in der Nähe spielt. «Da kommt dann mein griechisches Temperament zum Tragen», grinst er.

Sogar Skifahren habe er während seiner Zeit am PSI gelernt. «Das war mir als Grieche zuvor absolut fremd. Die Kolleginnen und Kollegen haben es mir mit einer Engelsgeduld beigebracht. So kann ich heute mit meinen beiden Kindern – ich habe inzwischen eine Schweizerin geheiratet und eine Familie gegründet – auch Skifahren gehen. Das gehört hier in den Alpen natürlich dazu.»

Noch heute, da er über zehn Jahre nicht mehr am PSI ist, hat er sporadisch Kontakt dorthin. Anfangs war er sogar noch an einigen Forschungspublikationen beteiligt. «Das mache ich jetzt aber nicht mehr und fokussiere mich auf meine Arbeit hier.» Dennoch gebe es neben persönlichen Kontakten auch noch berufliche – etwa dann, wenn die ETH Zürich Versicherungsmathematiker wie ihn als Experten aus der Praxis zu einem Seminar für Mitarbeitende und Studierende einlädt.

### In der Schweiz Wurzeln geschlagen

Neben dem Team am PSI haben auch Sprachkurse und seine Familie zum Einleben in der Schweiz beigetragen. Nach Griechenland zurückzukehren, kann sich Barmpadimos nicht mehr vorstellen: «Ich fühle mich absolut wohl in der Schweiz und habe hier Wurzeln geschlagen. Ich mag meine Arbeit und den Umgang mit Daten sehr und die Pünktlichkeit und Präzision der Schweizer ebenso – nicht nur aus beruflichen Gründen.»

Aber macht er sich als Familienvater nicht Gedanken, dass der Klimawandel auch vor der Schweiz nicht Halt macht? «Natürlich», sagt er. «Wir werden uns umstellen müssen. Und damit meine ich nicht nur, dass Skifahren auf Kunstschnee inmitten brauner Landschaft keinen Spass macht. Es wird mehr Stürme, Starkregen, Dürren und andere Wetterextreme geben. Aber es hilft nichts, den Kopf in den Sand zu stecken. Wir müssen alles versuchen, um das Schlimmste zu vermeiden.» ♦

WIR ÜBER UNS

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 ungerne finden wir, bei einem Institut, das sich über 342000 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

Wissenschaftlerinnen und  
Wissenschaftler aus der  
ganzen Welt führen jährlich an  
diesen Grossforschungs-  
anlagen Experimente durch

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 Entwick-

lung 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 2/2023 (Mai 2023)  
ISSN 2504-2262

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

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

**Design und Art Direction**  
Studio HübnerBraun

**Fotos**  
Scanderbeg Sauer Photography,  
ausser:  
Seite 25: Paul Scherrer Institut /  
Mahir Dzambegovic;  
Seite 26: Adobe Stock;  
Seiten 28–33, 35–37: Jürg Waldmeier;  
Seite 38: Paul Scherrer Institut /  
Markus Fischer.

**Illustrationen und Grafiken**  
Studio HübnerBraun,  
ausser: Seiten 6/7: Daniela Leitner;  
Seite 41: Adobe Stock.

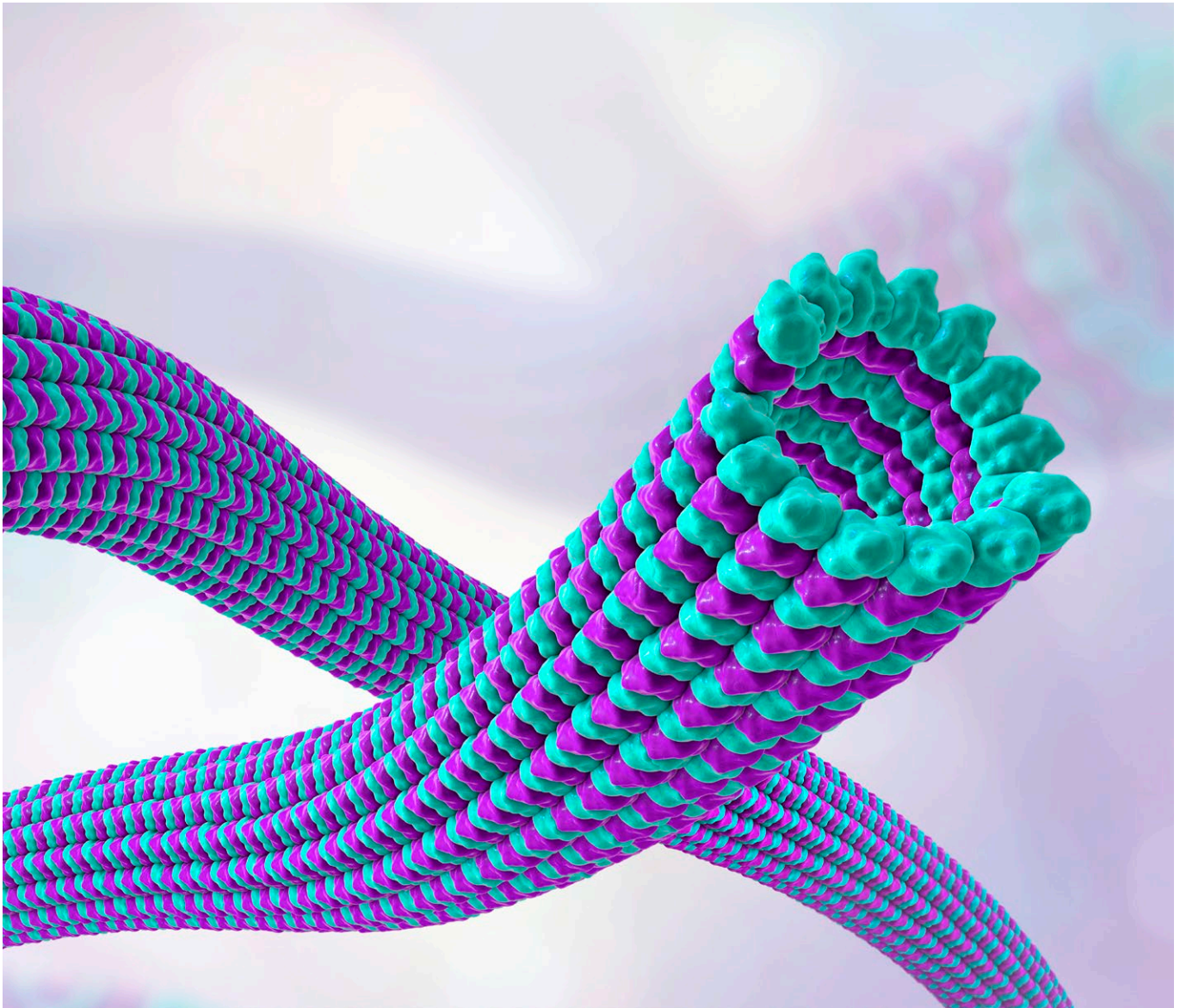
**Mehr über das PSI lesen Sie auf:**  
www.psi.ch

**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/en/5232  
www.psi.ch/fr/5232







## Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

Das Zellskelett gehört zu einem der vielversprechendsten Themen der aktuellen biologischen Forschung. Anders als sein Name vermuten lässt, ist es nicht nur ein inneres Gerüst. Darüber hinaus spielt es eine wichtige Rolle bei fundamentalen Lebensvorgängen, zum Beispiel der Zellteilung oder bei der Mobilität innerer Funktionseinheiten einer Zelle, den sogenannten Organellen. Störungen dieser Abläufe können zum Beispiel neurodegenerative Erkrankungen verursachen. Andererseits bieten Wirkstoffe, die gezielt das Zellskelett angreifen, Ansätze für Therapien, beispielsweise gegen Krebs. Forschende des PSI arbeiten deshalb in der globalen Spitzenforschung daran, die Prozesse rund um das Zellskelett besser zu verstehen und damit neue Möglichkeiten für die Medizin zu schaffen.



Paul Scherrer Institut  
Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen PSI, Schweiz  
[www.psi.ch](http://www.psi.ch) | +41 56 310 21 11