

SCHWERPUNKTTHEMA

ELEKTRONIK DER ZUKUNFT

Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

01 / 2019

2025



SCHWERPUNKTTHEMA: ELEKTRONIK DER ZUKUNFT

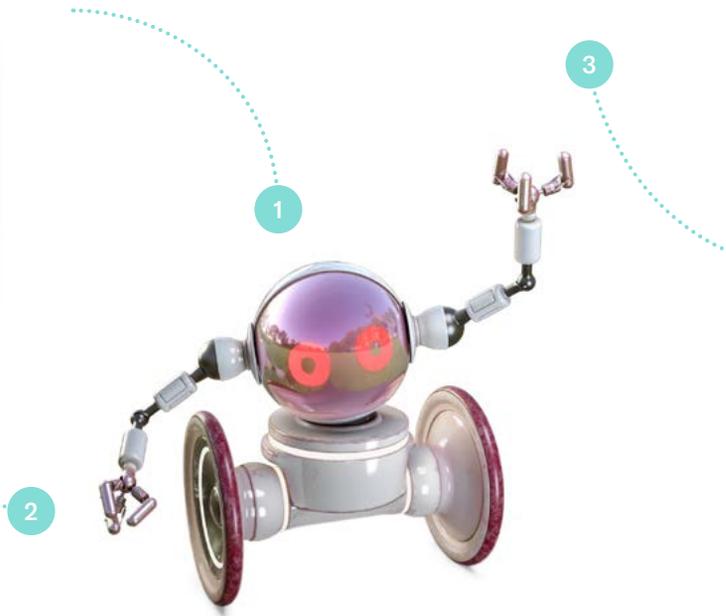


INTERVIEW

«Jetzt ist es Zeit für etwas Neues»

Gabriel Aeppli und Christian Rüegg
untersuchen mit verschiedenen Methoden
Materialien – auch im Hinblick auf
elektronische Bauteile der Zukunft.

Seite 10



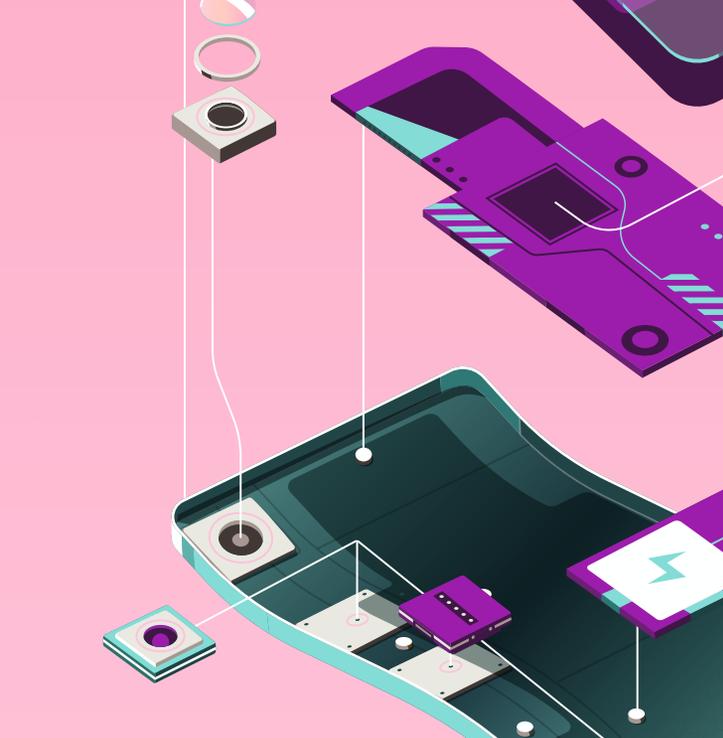
HINTERGRUND

Elektronen zuschauen und Bits anknipsen

Kleiner, schneller und vor allem energieeffizienter
soll die Elektronik werden. Auch das PSI
forscht an Lösungen. Wer tüftelt derzeit woran?

Seite 14





INFOGRAFIK

Das Smartphone der Zukunft

Am Smartphone lässt sich zeigen, welche Grundlagenforschung aus Physik, Chemie, Material- und Ingenieurwissenschaften nötig ist – und was die Zukunft wohl bringen wird.

Seite 18



INHALT

NACHGEFRAGT	
Was machen Sie da, Herr Strässle?	4
DAS PRODUKT	
Katalysatoren	6
DAS HELFERLEIN	
Kehrrichtsack	7
 SCHWERPUNKTTHEMA:	
ELEKTRONIK DER ZUKUNFT	8
 INTERVIEW	
«Jetzt ist es Zeit für etwas Neues»	10
 HINTERGRUND	
Elektronen zuschauen und Bits anknipsen	14
 INFOGRAFIK	
Das Smartphone der Zukunft	18
IM BILD	
Lea Caminada	21
IN DER SCHWEIZ	
Ein Studium mit viel Umschwung	22
Was motiviert junge Leute, sich für das Fach <i>Nuclear Engineering</i> einzuschreiben?	
IN KÜRZE	
Aktuelles aus der PSI-Forschung	26
1 100 Prozent Bio	
2 Effiziente Krebstherapie	
3 Energiesparende Datenspeicher	
4 Neues zur Kleinen Eiszeit	
GALERIE	
Moderne Meisterwerke	28
Diese Forschungsergebnisse machen sich in jedem Wohnzimmer gut.	
ZUR PERSON	
Kinder sind ihre Leidenschaft	34
Beate Timmermann baute am PSI die Protonentherapie für krebskranke Kinder auf.	
WIR ÜBER UNS	38
IMPRESSUM	40
AUSBlick	41

Was machen Sie da, Herr Strässle?

Für die Elektronik der Zukunft gilt seit Jahrzehnten das Gleiche: Sie soll schneller, kleiner und energiesparender werden. Doch derzeit steht ein grundlegender Wandel an. Welche Rolle spielt dabei das PSI? Thierry Strässle, Direktor ad interim des Paul Scherrer Instituts, antwortet.

Herr Strässle, entwickeln die grossen Hersteller von Smartphones, Computerprozessoren und Speicherplatten auch die Technologie, die darin steckt?

1

Ja – aber erst ab einem gewissen Grad. Ganz ähnlich wie in der Pharmaindustrie muss auch der Forschung und Entwicklung, die in den Technologieunternehmen stattfindet, etwas vorausgehen: die Grundlagenforschung. Firmen können das nicht leisten. Hingegen sind die Forschenden am PSI und an anderen Instituten genau darin sehr gut: Auch mal zwei oder auch drei Schritte zurückzugehen und von dort aus einen völlig neuen und besseren Ansatz zu finden. Manchmal heisst das, herauszufinden, wie Laserpulse winzige magnetische Bereiche umschalten können. Und manchmal bedeutet es, zuallererst eine neue hochmoderne Untersuchungsmethode zu entwickeln, mit der man Elektronen beim Fliesen in elektrisch leitendem Material zusehen kann.

Die Grundprinzipien für das Smartphone der Zukunft werden also auch am PSI erforscht?

2

Nun, das hoffen wir natürlich. Die derzeitige Elektronik beruht seit Langem auf den gleichen Prinzipien: Silizium und magnetische Speicherbits. Beides wurde bislang immer weiter optimiert, aber da gelangen wir langsam an eine natürliche Grenze. Ganz neue Ansätze müssen her. Und wir haben berechtigte Hoffnung, dass eines Tages auch Konzepte, die wir heute am PSI erforschen, in der Elektronik der Zukunft stecken werden – denn wir sind an vorderster Linie dabei, neues Wissen rund um Materialien zu erlangen.

Das Thema dieser Ausgabe verdeutlicht also sehr gut das Motto des PSI *Wir schaffen Wissen – heute für morgen?*

3

In der Tat. Und manchmal bedeutet das auch: Wir werden weiteres Wissen schaffen – morgen für übermorgen! Erst vor wenigen Wochen hat Gabriel Aepli, der hier in dieser Ausgabe ab Seite 10 interviewt wird, gemeinsam mit drei weiteren Forschenden eine EU-Förderung von 14 Millionen Euro erhalten. Diese Summe werden sie in den kommenden Jahren nutzen, um neue Quanteneffekte in Materialien zu finden und neue Materialien mit massgeschneiderten Quanteneigenschaften zu erschaffen. Und ich teile die Ansicht dieser vier Forschenden: Es ist sehr wahrscheinlich, dass solche Quanteneigenschaften eines Tages das Rückgrat der Elektronik der Zukunft bilden werden.



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

Katalysatoren

In Automotoren tragen Katalysatoren dazu bei, die Abgase zu säubern. Forschende meinen mit dem Wort Katalysatoren jedoch ganz allgemein Materialien, die eine chemische Vermittlerrolle übernehmen und dadurch bestimmte chemische Reaktionen erst möglich machen. Um Materialien auf ihre Eignung für neue Katalysatoren zu untersuchen, lässt sich die hochintensive Röntgenstrahlung nutzen, die an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS am PSI zur Verfügung steht. Mittels Röntgenspektroskopie ermitteln PSI-Forschende die mikroskopische Struktur dieser Materialien auf der Ebene einzelner Atome und verfolgen zugleich, wie diese Struktur die katalytische Aktivität beeinflusst.

Im Falle von Katalysatoren für Autos ist eines der Ziele, Materialien zu entwickeln, die auch bei sehr hohen Motortemperaturen nicht ihre Struktur verändern und dadurch ihre Leistungsfähigkeit verlieren. Zudem suchen Forschende nach Möglichkeiten, auf die bislang eingesetzten, teuren Elemente wie Platin zu verzichten. Kurz: Bessere und günstigere Autokatalysatoren könnten eines Tages auch PSI-Forschenden zu verdanken sein.

In der Spitzenforschung kommen manchmal überraschend alltägliche Hilfsmittel zum Einsatz. Zum Beispiel ein

Kehrrichtsack

Die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS ist eine Grossforschungsanlage, die hochintensive Röntgenstrahlen für Untersuchungen liefert. Das Röntgenlicht gelangt in Vakuumröhren bis zu den jeweiligen Experimentiertischen. Hier lässt sich aufgrund der experimentellen Aufbauten der Untersuchungsgegenstand nicht immer direkt an den Ausgang der Vakuumröhre platzieren. Daher müsste in diesen Fällen der Röntgenstrahl eine kurze Strecke durch Luft zurücklegen – wobei er jedoch durch den Kontakt mit den Luftmolekülen abgeschwächt würde.

Um dies zu verhindern, nehmen PSI-Forschende einen grossen, matt-durchsichtigen Kehrrichtsack und füllen ihn mit Helium. Helium hat sehr kleine Atome und schwächt darum die Röntgenstrahlung kaum ab. Die Forschenden verankern ihren selbst gemachten Heliumballon mit Klebestreifen auf dem Experimentiertisch, wo er den Luftbereich ausfüllt, durch den die Röntgenstrahlung hindurch muss. Der Verlust an Röntgenstrahlung, wenn sie beim Ein- und Austritt jeweils die Plastikfolie des Sacks passiert, ist dabei vergleichsweise vernachlässigbar.

So wird die Intensität des Röntgenstrahls optimal bewahrt, um unter anderem Katalysator-Materialien zu untersuchen.





Hans Sigg, Jonathan White und
Marisa Medarde (von links)

2

HINTERGRUND

Elektronen zuschauen
und Bits anknipsen

Seite 14

1

INTERVIEW

«Jetzt ist es Zeit für
etwas Neues»

Seite 10

3

INFOGRAFIK

Das Smartphone
der Zukunft

Seite 18





SCHWERPUNKTTHEMA

Elektronik der Zukunft

Kompakte elektronische Geräte wie Smartphones und Tablets begleiten uns schon längst im Alltag. Die futuristischen Ideen für selbstfahrende Autos, künstliche Intelligenz und Hologramm-Telefonie sind gross. Doch die Grundlagenforschung, die dafür jetzt schon erfolgt, spielt sich im Winzigen ab: auf der Ebene der Elektronen und Nanostrukturen. Hieran tüfteln Forschende weltweit – nicht zuletzt auch am PSI.

«Jetzt ist es Zeit für etwas Neues»

Macht man elektronische Bauteile kleiner, werden sie leider heisser. Auch ist bald die Grenze der technisch machbaren Verkleinerung erreicht. Am PSI arbeiten Gabriel Aeppli und Christian Rüegg an grundlegend neuen, physikalischen Lösungen für bessere Rechner und Datenspeicher.

Interview: Barbara Vonarburg

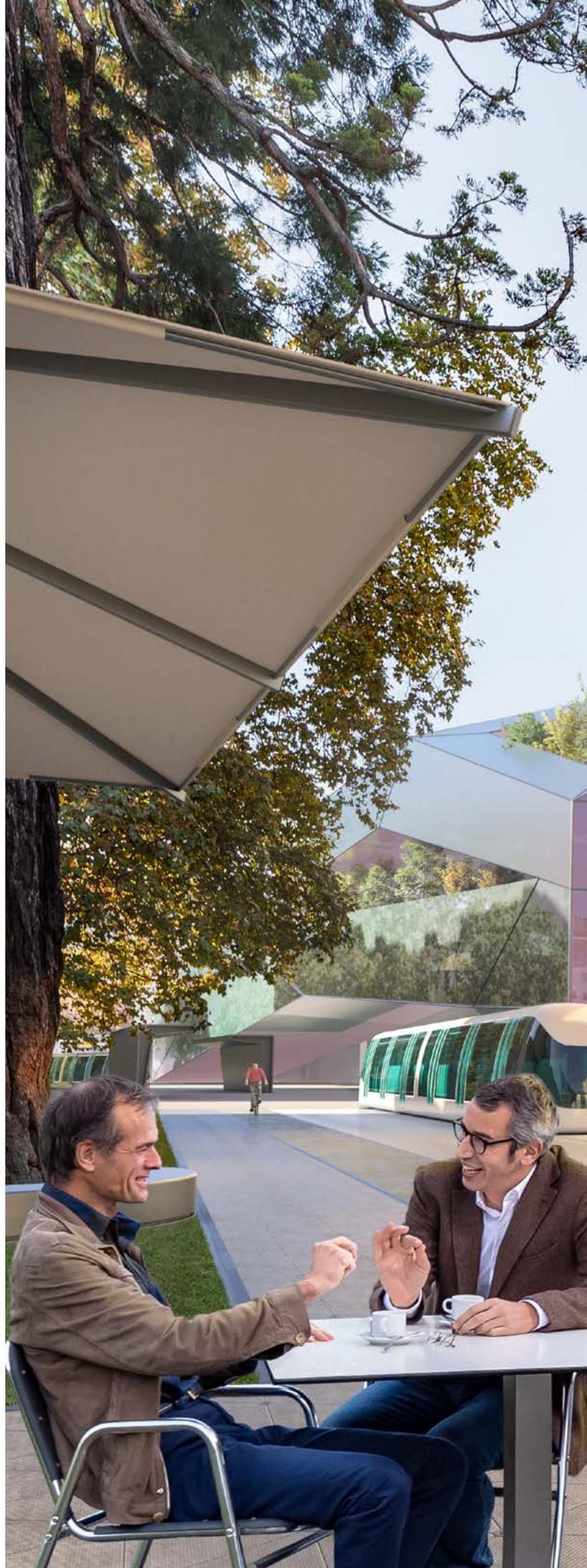
Herr Aeppli, Herr Rüegg, was ist in Ihren Augen die derzeit grösste Herausforderung bei der Entwicklung von Elektronik?

Gabriel Aeppli: Eines der grössten Probleme ist der Energieverbrauch. Die elektronische Datenverarbeitung und die Kommunikationsinfrastruktur benötigen heute mehr Energie als der Luftverkehr. Wenn wir so weitermachen, ist in zehn oder fünfzehn Jahren die Hälfte des gesamten Energieverbrauchs dem Bereich der Informationstechnologien zuzuschreiben.

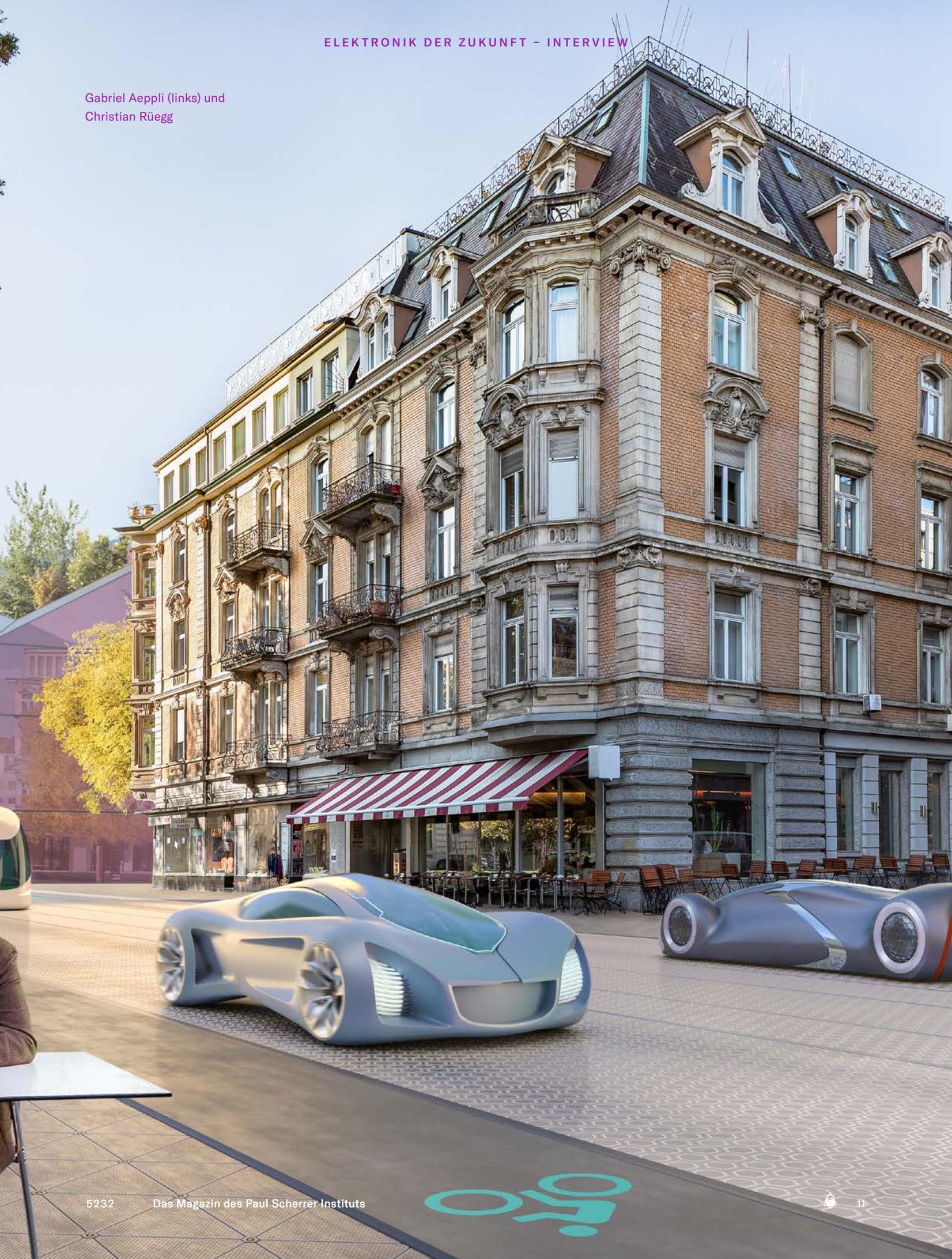
Christian Rüegg: Das ist erstens ein gesellschaftliches Problem und zweitens auch ein technisches. Bei diesem Energieverbrauch entsteht sehr viel Abwärme – und je kleiner man die Dinge baut, desto heisser werden sie. Das sind einfach die Gesetze der Thermodynamik, also grundlegende Physik.

Aeppli: Zwei weitere Probleme: Die Basis, also die einzelnen elektronischen Schalter, wird nicht mehr schneller. Und weil alles so komplex ist, kann es Probleme mit der Sicherheit und der Zuverlässigkeit geben.

Rüegg: Beim Einsatz von künstlicher Intelligenz und selbstfahrenden Autos kann diese Zuverlässigkeit entscheidend sein. Stürzt zu Hause der Computer ab und muss neu gestartet werden, ist das bloss ärgerlich. Auf der Autobahn bei 120 Stundenkilometer ist das ein anderes Problem.



Gabriel Aeppli (links) und
Christian Rüegg





«Bisher muss man Probleme technisch lösen; wir wollen stattdessen eine schlaue physikalische Lösung finden.»

Christian Rüegg, Leiter des Forschungsbereichs Neutronen und Myonen, PSI

Aeppli: Noch eine Herausforderung ist das kommerzielle Risiko. Der Bau einer neuen Chip-Fabrik kostet bereits heute 10 bis 20 Milliarden US-Dollar und wird sich weiter verteuern.

Die Probleme scheinen zahlreich und immens.

Aeppli: Darum sind wir hier! Dass die Herausforderungen so gross sind, macht die Sache so interessant. Während der letzten vierzig Jahre waren wir wie auf einer Autobahn. Es wurde immer die gleiche Idee benutzt, um die elektronischen Bauteile kleiner und kleiner zu machen.

Rüegg: Die heutige Elektronik basiert auf normalen Transistoren, die wie Schalter agieren und mit denen man auf Null oder Eins schaltet. Man könnte andere Prozesse benutzen, mit denen sich die Komplexität reduzieren liesse, weil stattdessen die einzelnen Teile selbst komplexer wären. Bisher musste man Probleme technisch lösen; wir wollen stattdessen eine schlaue physikalische Lösung finden.

Aeppli: Jetzt ist es wirklich Zeit für etwas Neues!

Wie sieht diese neue, schlaue Lösung aus?

Rüegg: Es gibt zwei verschiedene Bereiche: Erstens das Rechnen und zweitens das Speichern von Daten. Zu beiden gibt es je eine eigene Lösungsidee. Für die Datenspeicherung sucht man nach neuen Materialien. Man möchte mit exotischen Supermaterialien, die besondere magnetische Eigenschaften haben, Daten schneller und mit weniger Energie speichern. Am PSI untersuchen wir, welche Materialien in Frage kommen.

Beim Rechnen ist klar: Die Einheit, die man in Zukunft benutzen wird, muss etwas anderes sein als der bisherige Null-Eins-Transistor; sie muss mehr Zustände haben. Als Lösung sehe ich den Bau eines grundlegend neuen Computers, der auf den

Prinzipien der Quantenmechanik basiert. Es gibt weltweit viele Initiativen. Wir am PSI tragen zu dieser Forschung bei.

Aeppli: Klassische Bits sind wie gesagt entweder 0 oder 1. Quantenbits, sogenannte Qubits, können sich in einem Überlagerungszustand befinden, der gleichzeitig 0 und 1 ist. Quantenzustände haben eine viel grössere Informationsdichte und sie ermöglichen im Prinzip ein natürliches Parallelrechnen. Das ist viel schneller als das klassische Parallelrechnen, das heute in typischen PC-Prozessoren durch eine «Multicore»-Architektur erreicht wird und es zum Beispiel erleichtert, mehrere Tabs im Browser offen zu haben.

Firmen wie IBM und Google verfügen bereits über Prototypen von Quantencomputern, basierend auf dem Phänomen der Supraleitung. Andere Ansätze kommen aus der Laser- und Atomphysik. Lässt sich dereinst tatsächlich ein handlicher Quantencomputer bauen, der unsere herkömmlichen Rechner mit ihren Silizium-Chips ersetzen wird?

Aeppli: In Atomphysik-Labors sieht es ein wenig aus wie an Weihnachten, mit vielen Lasern, die sehr präzise eingestellt sind. Die Dimensionen sind im Moment gross und unpraktisch. Auch für die supraleitenden Maschinen sind die Qubits relativ gross, vor allem wenn man die Notwendigkeit der Tiefkühlung in Betracht nimmt.

In meiner Forschung ist und bleibt Silizium die Grundlage. Will man die Quantenphysik in einem robusten Gerät umsetzen, muss man auf Silizium zurückgreifen – ein ideales Material, in das man bereits extrem viel Forschung investiert hat. Und es eignet sich auch, denn Silizium ist zwar ein Festkörper, doch es verhält sich in mancher Hinsicht wie

ein unglaublich sauberes Vakuum. Wir nutzen diese Eigenschaft und verwenden Silizium als Falle für einzelne Atome. Und solche Atom-Fallen sind die Grundlage der Qubits.

Wie weit sind Sie bei der Entwicklung eines solchen siliziumbasierten Quantencomputers?

Aeppli: Hier am PSI beschäftigen wir uns mit der zugrunde liegenden Physik. Den Kollegen im niederländischen Delft und an der australischen Universität von New South Wales ist es auf diesem Prinzip beruhend bereits gelungen, kleine Quantenschalter zu realisieren. Andere Forschende, zum Beispiel an der ETH Zürich, arbeiten übrigens parallel an einer anderen, supraleiterbasierten Technik. Wir aber denken: Silizium könnte nicht nur die Vergangenheit, sondern auch die Zukunft repräsentieren.

Werden in unseren Smartphones in zehn oder zwanzig Jahren Quantencomputer stecken?

Aeppli: Ich denke, Quanten-Coprozessoren werden zumindest Teilaufgaben lösen. In unseren Smartphones wird kein ganzer Quantencomputer drinstecken, aber man wird Quanteneigenschaften ausnützen, um beispielsweise das Energieproblem zu lösen. Wir machen hier am PSI unter anderem Experimente, um besser zu verstehen, wie sich die Elektronen in Computerchips verhalten. Dieses Verhalten ist für alle elektronischen Eigenschaften, also auch für das Schalten von Bits – egal ob klassisch oder quantenmechanisch – verantwortlich. Mit der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS beginnen wir jetzt, die Elektronen in dünnen Materialschichten direkt anzuschauen. Das werden wir bald auch mit dem neuen Röntgenlaser SwissFEL tun.

Rüegg: Physikalisch und in ihrem Ansatz ist die Quantentechnologie äusserst spannend. Aber es müssen noch viele Schritte gemacht werden. Einige

davon haben wir Wissenschaftler selbst unter Kontrolle, andere nicht – zum Beispiel wirtschaftliche Faktoren. Deshalb ist das Interesse der Industrie wichtig.

Wie steht es mit der Zusammenarbeit zwischen PSI und Industrie?

Aeppli: Wir profitieren davon, dass die Physik jetzt plötzlich wieder wichtig ist, weil eine neue Generation von Grundlagenforschung gemacht werden muss. Lange kümmerten sich die Firmen vor allem um Systeme und Software. Nun investieren Unternehmen wie Microsoft und Google plötzlich in Hardware und arbeiten nicht nur mit Forschungsinstituten zusammen, sondern betreiben in eigenen Labors Grundlagenforschung, weil sich die gegenwärtigen Probleme nicht mehr mit Software lösen lassen.

Und wie genau läuft Ihre Zusammenarbeit mit Industriepartnern?

Rüegg: Wir haben gemeinsame Forschungsprojekte, aber auch Auftragsforschung, bei der die Industriepartner ihre Experimente mit unseren Anlagen durchführen und dafür bezahlen.

Aeppli: Viele der Projekte sind so angewandt, dass wir nicht einmal darüber reden dürfen.

Wie fühlt sich diese Geheimhaltung für die PSI-Forschenden an?

Rüegg: Ach, in unserer eigenen Forschung ist das ganz ähnlich. Wenn man eine grossartige Idee hat, gibt es Wettbewerb und Abmachungen. In der Schweiz gibt es Leute, die an der Digitalisierung arbeiten; wir hier am PSI arbeiten bereits an der Digitalisierung 2.0. ♦

Gabriel Aeppli ist Leiter des Bereichs Photonenforschung am PSI und Professor für Physik an der ETH Zürich und der ETH Lausanne EPFL. 1956 in Zürich geboren, wuchs er in den USA auf und promovierte am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Elektrotechnik. Einen Grossteil seiner Laufbahn verbrachte der schweizerisch-US-amerikanische Doppelbürger in der Industrie, bevor er 2002 eine Professur in London annahm und Mitbegründer eines Nanotechnologie-Zentrums wurde. 2014 kehrte er in die Schweiz zurück.

Christian Rüegg ist Leiter des Bereichs Neutronen und Myonen am PSI und Professor an der Universität Genf. Er besuchte die Alte Kantonsschule Aarau, studierte an der ETH Zürich Physik und arbeitete anschliessend während sechs Jahren am Londoner Nanotechnologie-Zentrum, das damals von Gabriel Aeppli geleitet wurde. Seit 2011 ist Christian Rüegg zurück im Aargau am PSI. Seine aktuelle Forschung zum Quantenmagnetismus wird vom Europäischen Forschungsrat gefördert.

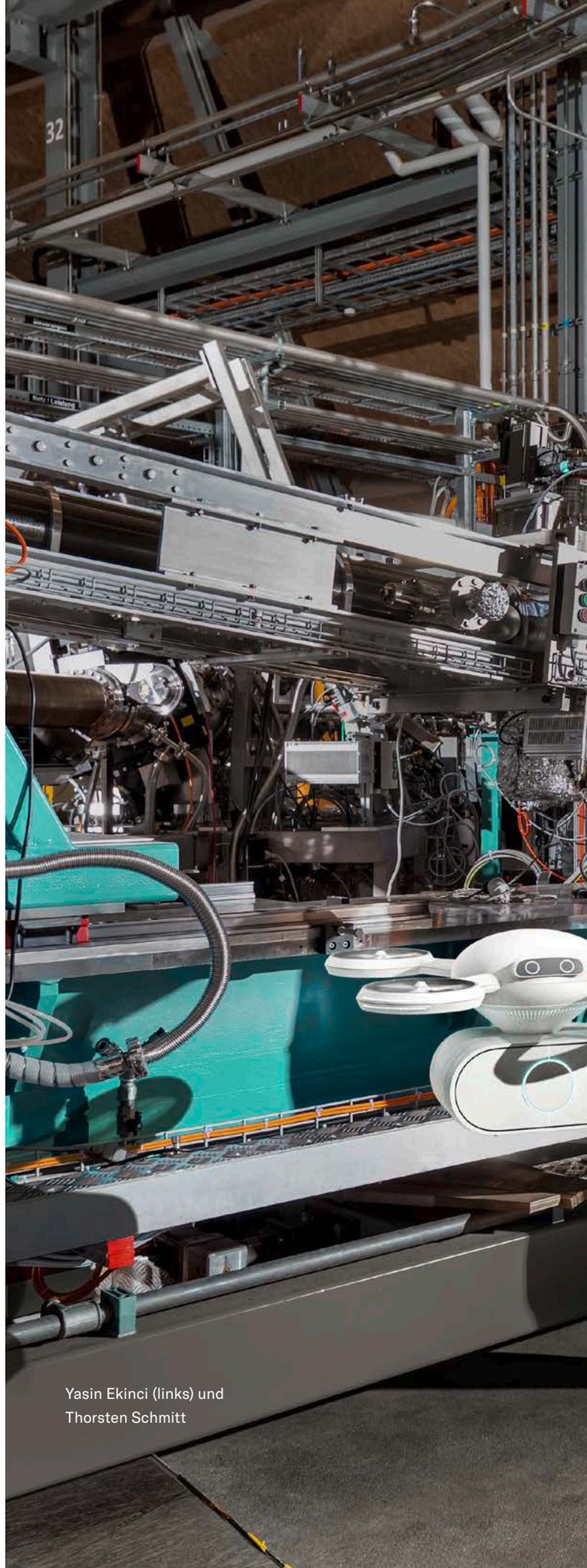
Elektronen zuschauen und Bits anknipsen

Kleiner, schneller und vor allem energieeffizienter soll die Elektronik werden. Auch in mehreren Forschungsgruppen am Paul Scherrer Institut PSI sind diese Themen präsent. Von schrittweisen Verbesserungen bis zum kompletten Umdenken – wer tüfelt derzeit woran?

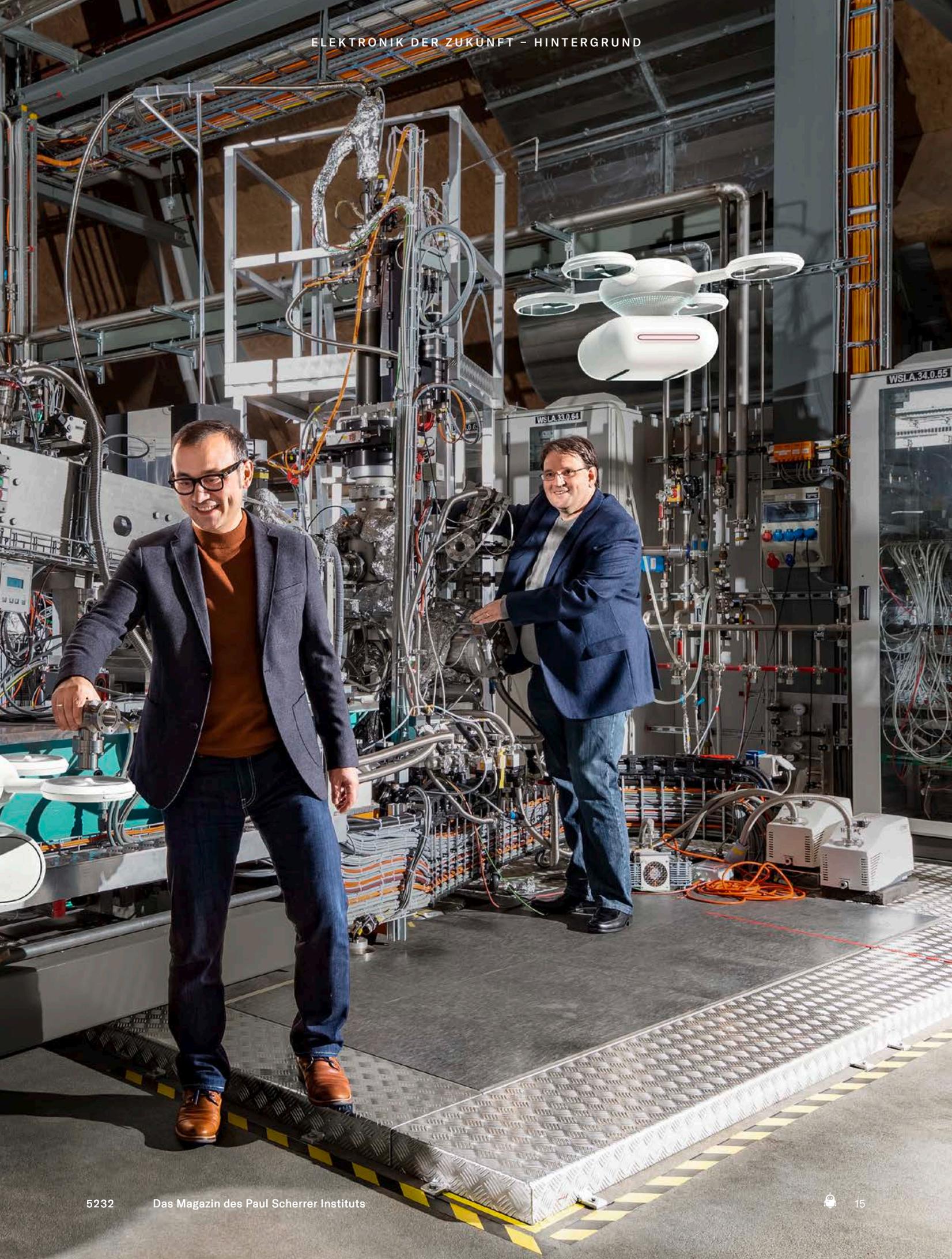
Text: Barbara Vonarburg

Yasin Ekinci hält eine Siliziumscheibe in der Hand. Anschaulich erklärt der Leiter ad interim des PSI-Labors für Mikro- und Nanotechnologie, wie daraus Computerchips entstehen. Seit ungefähr sechzig Jahren verwenden die Hersteller dazu Fotolithografie. «Das heisst, man schreibt mit Licht auf Stein», übersetzt Ekinci: «Der Stein ist ein Silizium-Wafer wie dieser hier und zum Schreiben benutzt man ultraviolettes Licht.» Um Chips mit immer dichteren Leiterbahnen und mehr Transistoren herzustellen, musste man immer kleiner schreiben. Dies wiederum geht nur, indem man zu Licht mit noch kürzerer Wellenlänge wechselt.

Der Standard seit fünfzehn Jahren ist ultraviolettes Licht mit einer Wellenlänge von 193 Nanometer – ein Nanometer ist ein Millionstel eines Millimeters. Nun steht in der Chipherstellung ein Wechsel auf extrem ultraviolettes Licht (EUV) mit nur noch 13,5 Nanometer bevor. «Dazu braucht es eine völlig neue Technik, zu deren Entwicklung wir einen Beitrag leisten», sagt Ekinci. Zum besseren Verständnis holt der Fachmann aus: «Bei der Chipherstellung wird das Silizium mit Fotolack beschichtet. Darauf werden die Leiterbahnen und Transistoren mit dem UV-Licht projiziert. Dann entwickelt man diese lichtempfindliche Schicht wie eine alte Fotografie.»



Yasin Ekinci (links) und
Thorsten Schmitt





C-3PSI, Frithjof Nolting und
Ekaterina Pomjakushina (von links)



Yasin Ekinci: Ein neuer Lack für kleinere Strukturen

Um mit extrem ultraviolettem Licht noch kleinere Strukturen herzustellen, braucht es einen neuen Fotolack. «Die Firmen, die diesen entwickeln, kommen zu uns ans PSI, um ihr potenzielles Produkt zu testen: Mit EUV-Licht der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS schreiben sie in ihren neuen Lack», erzählt Ekinci und ergänzt stolz: «Die bislang kleinste, mit Fotolithografie hergestellte Struktur wurde am PSI gemacht.» Der Weltrekord von Ekincis Team: Ein regelmässiges Muster aus nur 7 Nanometer breiten parallelen Linien, erzeugt mit EUV-Licht an der SLS. Das entspricht einer sechzehn Mal dichteren Anordnung der Komponenten als in heutigen Computerchips. Erste, mit EUV-Licht hergestellte Chips sollen 2019 oder 2020 auf den Markt kommen.

Die EUV-Lithografie soll helfen, dass auch weiterhin das sogenannte Mooresche Gesetz eingehalten werden kann: Eine Faustregel aus den 1960er-Jahren, nach der sich in der Computerbranche bislang alle ein bis zwei Jahre Kennzahlen wie die Speicherdichte und die Rechenleistung verdoppeln.

Doch Fachleute sind überzeugt, dass es auf lange Sicht nicht genügen wird, einfach alles immer kleiner zu machen.

Hans Sigg: Laser auf dem Chip

«Originelle Ansätze sind gefragt», sagt daher Rolf Allenspach, Manager am IBM-Forschungslabor in Rüschlikon. Zudem habe für die Chips in Mobiltelefonen und Laptops nicht mehr die Leistung oberste Priorität, sondern die Energieeffizienz. «Das ist ein Paradigmenwechsel, der die Chipentwicklung verändert hat», sagt der IBM-Forscher, der immer wieder mit PSI-Forschenden zusammenarbeitet. Allenspach betont: «Es braucht das PSI. Der Forschungsplatz Schweiz profitiert stark von den

hiesigen Grossforschungsanlagen und von der High-Tech-Kultur, die hervorragend ausgebildete Leute anzieht.»

Eine Idee, wie sich die Kommunikation innerhalb eines Chips beschleunigen liesse, verfolgt Hans Sigg, Leiter der PSI-Forschungsgruppe für Quanten-Technologien: «Wir wollen winzige Laser auf dem Chip einbauen. Damit könnte die Elektronik noch viel effizienter funktionieren, denn auch Licht kann Daten übermitteln. Es ist schnell und die Strahlen lassen sich kreuzen, was einen neuen, dichteren Aufbau der Elemente auf dem Chip ermöglicht.» In Glasfasernetzen werden Lichtsignale heute praktisch verlustfrei über lange Strecken transportiert, doch die Integration von Licht im Chip ist bisher noch nicht geglückt. «Wir versuchen es unter anderem mit Germanium unter Zugspannung», erklärt Sigg. Zieht man Germanium auseinander, kann man es zum Leuchten bringen. Allerdings funktioniert dies bis jetzt nur bei tiefen Temperaturen. «Noch wissen wir nicht, ob wir erfolgreich sein werden», meint Sigg. «Aber das liegt in der Natur der Forschung.»

Thorsten Schmitt: Wie Elektronen fließen

Ähnlich sieht es auch Thorsten Schmitt: «Nur wenn wir an fundamentalen Fragestellungen arbeiten, kann es neue Entdeckungen geben», sagt der Leiter der PSI-Forschungsgruppe für Spektroskopie neuartiger Materialien. Er steht im kreisrunden Gebäude der SLS in einem Experimentierbereich, in dem der Röntgenstrahl an zwei Stationen endet – in einem komplexen, fünf Meter langen Instrument sowie in einer grossen Halbkugel. Damit konnten die Forschenden zeigen, wie sich ein Bauelement aus Galliumnitrid, das bereits in Smartphones verwendet wird, weiter verbessern lässt. Denn hier kann man in Materialien hineinblicken und den Elektronen beim Fließen zuschauen, also Experimente am

«lebenden Transistor» durchführen. Schmitts Spezialgebiet sind exotische Materialien, die sich zwischen Isolator und elektrisch leitendem Metall hin- und herschalten lassen. Sie bestehen aus bestimmten Metallatomen und Sauerstoff. «Solche sogenannten Übergangsmetalloxide sind gute Kandidaten für besonders verlässliche Transistoren», sagt Schmitt.

Ekaterina Pomjakushina: Masselos durch neue Materialien

Für ihre Untersuchungen benötigen die Forschenden Materialproben höchster Qualität. Ekaterina Pomjakushina züchtet mit ihrem Team perfekte Kristalle. Die Leiterin der PSI-Forschungsgruppe für Festkörperchemie öffnet die Tür zu ihrem Labor: «Hier steht unser Monster», meint sie lachend und zeigt auf den grossen, schneeweissen Spezialofen. Dessen Inneres ist mit blitzblanken Spiegeln ausgekleidet. «Der Ofen arbeitet optisch», erklärt Pomjakushina. Das Licht einer Xenon-Lampe wird durch die Spiegel fokussiert, sodass die Temperatur 3000 Grad erreicht. Hier wachsen die Kristalle aus verschiedenen Ausgangsmaterialien heran, die zuvor in kleineren Öfen zusammengefügt wurden. Dazu braucht es neben dem chemischen Wissen viel Fingerspitzengefühl. «Es ist wie in der Küche», sagt die Wissenschaftlerin: «Will man eine komplizierte Suppe zubereiten, muss man die Zutaten in der richtigen Reihenfolge in den Topf geben und am Schluss die passenden Gewürze hinzufügen. Dann erhält man etwas Wunderbares.»

Was die Forschenden begeistert, wirkt unscheinbar: Ein schwarzes, mattes, wenige Zentimeter langes, dünnes Stäbchen. Pomjakushina erklärt: «So sehen die meisten Kristalle aus, die wir wegen ihrer interessanten elektronischen oder magnetischen Eigenschaften züchten.» Dazu gehört auch das Material, das Pomjakushinas Mitarbeiter Pascal Puphal studiert: ein sogenanntes Weyl-Halbleitend. «Darin verhalten sich die Elektronen, als ob sie keine Masse hätten – also wie Licht», erklärt Puphal. Das wäre ideal für schnelle Transistoren. Doch der Physiker weiss: «Von einer Anwendung sind wir noch weit entfernt.» Um nun die physikalischen Vorgänge besser zu verstehen, sind weitere Untersuchungen an der Neutronenquelle SINQ des PSI geplant.

Jonathan White: Skyrmionen als Bits der Zukunft

Neutronen kommen in der Natur in Atomkernen vor. An der SINQ werden sie aus Blei herausgeschlagen, abgebremst und auf Proben gelenkt. «Will man

Das Smartphone der Zukunft

In unseren Handys stecken bereits heute viele Ergebnisse der Grundlagenforschung in Physik, Chemie, Material- und Ingenieurwissenschaften. Wie das Smartphone der Zukunft aussehen wird, lässt sich nur erahnen. Die Forschung läuft auf Hochtouren – weltweit und auch am PSI.

DATENSPEICHER

Im internen Flash-Speicher steckt bereits heute Quantenphysik: Dank des Tunneleffekts können Elektronen einen Isolator passieren – ein Ding der Unmöglichkeit in der klassischen Physik. Am PSI suchen Forschende nach neuen Materialien für noch langlebigere, energieeffizientere, schnellere und kleinere Speicher.

SENSOREN

Ein neues Infrarot-Lasermaterial, das Forschende am PSI zurzeit entwickeln, eignet sich vielleicht nicht nur für Computerchips, sondern auch für günstige Sensoren. In ein Smartphone integriert könnten sie die Luftzusammensetzung messen oder dafür sorgen, dass das Handy nachts sehen kann.

GEHÄUSE

Die meisten Schäden am Smartphone passieren, wenn man das Gerät fallen lässt. Für ein unzerbrechliches Handy könnte ein selbstheilender Kunststoff oder Graphen verwendet werden. Der zweidimensionale Kohlenstoff gilt als Wundermaterial. Es ist flexibel, transparent und hundertmal stärker als Stahl.

KAMERA

Handys werden mit immer mehr und besseren Kameralinsen ausgerüstet. Den perfekten Schuss liefert aber die Kamera-App – dank künstlicher Intelligenz. Sie erkennt das Motiv und wählt automatisch die richtige Kameraeinstellung. Um das Smartphone noch klüger zu machen, braucht es noch bessere Prozessoren.

DISPLAY

Ein brillanter Bildschirm, der sich falten oder ums Handgelenk rollen lässt: Organische Leuchtdioden (OLED) machen's möglich. Gesucht sind günstigere Materialien. In einem ersten Experiment am neuen Röntgenlaser SwissFEL am PSI untersuchten Forschende bereits ein vielversprechendes OLED-Molekül.

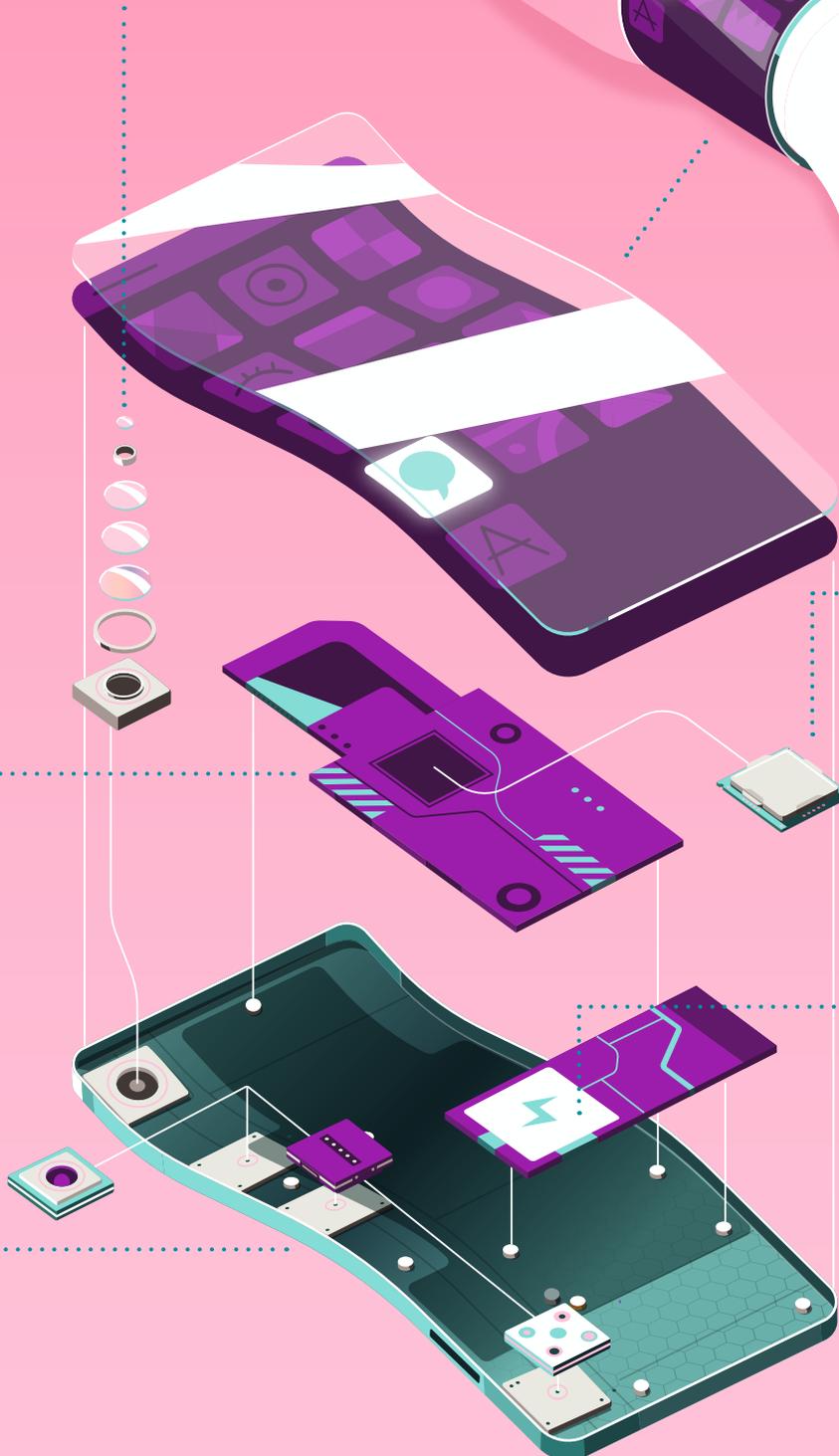


PROZESSOR

PSI-Forschende untersuchen exotische Materialien wie zum Beispiel Übergangsmetalloxide für effizientere Transistoren. Mit Grossforschungsanlagen wie der SLS am PSI lässt sich zeigen, wie sich die Elektronen in den Chips verhalten. Dieses Wissen soll auch helfen, Quanteneigenschaften auszunützen und so Energie zu sparen.

BATTERIE

PSI-Forschende arbeiten an der Verbesserung der Lithium-Ionen-Akkus. Sie untersuchen, wie sich deren Energiedichte erhöhen lässt, ohne dass beim Hin- und Herwandern der Lithium-Ionen winzige, aber kritische Veränderungen eintreten, die die Sicherheit des Akkus gefährden könnten. Sie forschen zudem an Akkus, die nur aus festen Materialien bestehen.





«Es braucht das PSI. Der Forschungsplatz Schweiz profitiert stark von den hiesigen Grossforschungsanlagen und von der High-Tech-Kultur.»

Rolf Allenspach, Manager am IBM-Forschungslabor in Rüschlikon

Magnetismus studieren, sind Neutronen hervorragend geeignet», sagt Christof Niedermayer, Gruppenleiter im Labor für Neutronenstreuung und Imaging. Vor allem für die Speicherung grosser Datenmengen wird es auch in Zukunft magnetische Festplatten brauchen. Darauf sind die Informationen gespeichert als Folge von kleinen Bereichen, deren Magnetisierung in die eine oder die entgegengesetzte Richtung weist – eine Reihe von Nullen und Einsen.

Vielleicht werden winzige magnetische Wirbel, genannt Skyrmionen, dereinst die Rolle dieser Speicherbits übernehmen. PSI-Forscher Jonathan White beschäftigt sich intensiv mit den kleinen Strudeln und erzählt, dass kürzlich an einer Tagung auch die Industrie Interesse am Thema gezeigt habe. Derzeit sucht White nach einem Material, in dem sich auch bei Raumtemperatur deutlich kleinere Skyrmionen realisieren lassen als bisher.

Marisa Medarde: Speichern dank gekoppelter Eigenschaften

Ein anderes, aktuelles Zauberwort heisst: Multiferroika. Marisa Medarde, Leiterin der PSI-Forschungsgruppe für Physikalische Eigenschaften von Materialien, forscht an diesen besonderen Verbindungen, deren magnetische und elektrische

Eigenschaften aneinandergeliegt sind. Auf Multiferroika liessen sich daher magnetische Daten einfach mittels elektrischer Spannung speichern. Das wäre schneller und würde weniger Energie benötigen als die derzeitigen magnetischen Schreibköpfe.

Frithjof Nolting: Bits mit Laserlicht anknipsen

Oder man nutzt auch für diesen Zweck Laserlicht. «Wir haben herausgefunden, dass man die magnetischen Bits auch mit einem Laserpuls umschalten kann», sagt Frithjof Nolting, Leiter des Labors für kondensierte Materie am PSI. Der Vorteil wäre auch hier: schnelleres Speichern bei geringerem Energieverbrauch. Momentan versuchen Nolting und seine Forschungsgruppe, theoretische Vorhersagen zu bestätigen oder zu widerlegen. «Als ich begann, mich für Magnetismus zu interessieren, wollte ich eigentlich nur Grundlagenforschung machen und verstehen, was auf dieser kleinen magnetischen Skala passiert», sagt der Nanowissenschaftler: «Dennoch könnte unsere Forschung nun dazu beitragen, Festplatten weiter zu verbessern.» ♦



Lea Caminada

Lea Caminada trägt dazu bei, neue Erkenntnisse über den Aufbau der Materie zu gewinnen. Am PSI tüftelt die Teilchenphysikerin, die erst vor Kurzem eine Eccellenza-Professur des Schweizerischen Nationalfonds erhielt, an der steten Verbesserung von einem der Detektoren des Teilchenbeschleunigers LHC am CERN. Der Detektor zeichnet mit 40 Millionen Bildern pro Sekunde auf, was passiert, wenn die beschleunigten Teilchen miteinander kollidieren. Das Wissen darüber ist die Grundlage für künftige Erklärungsmodelle der Physik.



Ein Studium mit viel Umschwung

Die Zeiten für nukleare Energie waren sicher schon mal rosiger. Das Thema polarisiert wie nur wenig andere. Was also motiviert junge Leute, sich dennoch für das Studium *Nuclear Engineering* einzuschreiben?

Text: Dominique Simonnot



Ab Oktober geht jeweils das neue Semester des Master-Studiengangs *Nuclear Engineering* los. Offiziell haben die Studentinnen und Studenten im Moment Semesterferien. Die perfekte Zeit, um sich bei einem Kaffee mit ihnen auszutauschen. Und die beste Zeit – vielleicht auch die einzige Möglichkeit – sie zusammen an einem zentralen Ort zu treffen. Denn der Studiengang ist einer der wenigen Joint-Degree-Studiengänge in der Schweiz, die Vorlesungen finden in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich, der ETH Lausanne EPFL und dem Paul Scherrer Institut PSI an drei verschiedenen Standorten statt. Das erste Semester beginnen die Studierenden in Lausanne, wo der Studiengang an das Physikdepartement angegliedert ist, für das zweite kommen sie nach Zürich an den Fachbereich für Maschinenbau und das dritte Semester findet im Forschungsbereich Nukleare Energie und Sicherheit des PSI statt. Passend zu den kleinsten nuklearen Teilchen sind die Studierenden also ständig in Bewegung. Zwei von ihnen haben Zeit gefunden, mir ein wenig über

das Studium, ihre Motivation und Erfahrungen zu erzählen. Zwei Schweizer, denn ich möchte herausfinden, was gerade sie dazu bewegt, dieses Studium zu ergreifen. Schliesslich hat die Schweiz 2011 beschlossen, ihre Reaktoren nicht mehr zu erneuern. Und im grenznahen europäischen Ausland gilt der gleiche Kanon: Raus aus der Kernenergie.

PSI als zentrale Anlaufstelle

Lea Zimmermann kommt aus der Deutschschweiz und hat ihren Bachelor in Maschinenbau abgeschlossen. Zurzeit macht sie ein Praktikum im Bereich Rückbau in Beznau und ist danach für das dritte Semester am PSI. Boris Hombourger ist Westschweizer mit französischen Wurzeln. Er hat das Studium bereits 2013 und seine Doktorarbeit im Sommer 2018 abgeschlossen. Zurzeit forscht er am PSI an der Entwicklung fortgeschrittener Reaktoren. Es ist früher Nachmittag und wir haben die idyllisch an der Aare gelegene Terrasse des zum Paul Scherrer

Institut gehörenden Restaurants Oase fast für uns allein. Lea und Boris sind sehr aufgeschlossen und erzählen begeistert von ihrem Studium und den Erfahrungen in Lausanne und Zürich. «Beide Standorte sind nicht nur aufgrund der Angliederung an die unterschiedlichen Fachbereiche so spannend, sondern auch wegen der kulturellen Unterschiede», erzählt Lea.» In Lausanne weht ein ganz anderer Geist als in Zürich, die Mentalität ist teilweise sehr unterschiedlich.» Boris stimmt ihr schmunzelnd zu: «Doch mit unterschiedlichen Mentalitäten kennen wir uns gut aus. Schliesslich sind wir auch eine internationale Gruppe im Studium. Unsere Kommilitonen kommen beispielsweise aus den USA, aus China, Frankreich oder Italien. Das allein verlangt schon eine gewisse Weltoffenheit.»

Vorteile Joint Degree

Das Prinzip der Hochschulkooperation ist in der Schweiz noch eine Seltenheit. Dabei ist es mehr als sinnvoll, wenn Fachbereiche verschiedener Unis mit Forschungseinrichtungen und sonstigen branchenrelevanten Institutionen zusammenarbeiten und Synergien nutzen, um Fachwissen aus Lehre und Forschung zu vermitteln. Nur so erhalten die Studierenden umfassende Einblicke in die verschiedenen Facetten des Studiengangs. Im Falle von *Nuclear Engineering* bedeutet das zum Beispiel auch eine enge Zusammenarbeit mit der Nagra, dem Kompetenzzentrum der Schweiz für die Entsorgung radioaktiver Abfälle.

Neben der kulturellen und fachlichen Vielfalt ist es auch die Exklusivität, die die Studierenden schätzen. «Wir sind zurzeit acht Studenten in meinem Semester», erzählt Lea. «Den kleinsten Teil davon bilden die Schweizer. Das bedeutet, dass wir einige der wenigen Schweizer mit fundierten und breiten Kenntnissen auf diesem Gebiet sein werden.» Und auch wenn viele ausländische Studierende im Anschluss in der Schweiz bleiben, sind Schweizer aufgrund ihrer Muttersprache im Vorteil.

Breites Spektrum an Know-how

Das sind wahrhaft traumhafte Rahmenbedingungen. Doch was ist mit den Studieninhalten?

«Das Studium an sich geht extrem in die Breite. Ich als Physiker habe sehr viel aus dem Bereich Maschinenbau, zum Beispiel über Thermohydraulik, gelernt», erzählt Boris. «Oder über Anwendungen im medizinisch-technischen Bereich.»

Das bestätigt auch Andreas Pautz, gelernter Physiker, Professor an der EPFL und Leiter des Forschungsbereichs Nukleare Energie und Sicherheit

am PSI. «Um die Einsatzmöglichkeiten der Studierenden zu erweitern, wurde das Studium in den letzten Jahren um beispielsweise medizinische Komponenten ergänzt. Eine der Pflichtvorlesungen im ersten Semester ist somit Strahlenphysik in der medizinischen Anwendung.»

Nichtsdestotrotz zieht es die meisten Studierenden weiterhin in die Konstruktion und Entwicklung von Reaktoren und die Weiterentwicklung der Kernenergie. «Das umfasst auch die Kernfusion, die ebenfalls Gegenstand der Vorlesung im 1. Semester ist», so Andreas Pautz. «Allerdings bleiben die meisten Studenten doch den laufenden Kernkraftwerken oder Reaktoren der 4. Generation treu, obwohl wir auch mit dem Kernfusionsreaktor ITER (Internationaler Thermonuklearer Experimental-Reaktor) in Südfrankreich kooperieren.»

Keine Zukunft ohne Nuklearforschung

Auch Lea und Boris möchten in Zukunft am liebsten im oder am Reaktor arbeiten. In der Entwicklung oder im Rückbau. Als Sackgasse sehen Boris und Lea ihre Branche nicht. Immerhin entstehen weltweit gerade viele neue Kernkraftwerke. Allein China möchte 40 neue KKW ans Netz bringen. Während es Boris jedoch in die USA zieht, möchte Lea gerne in der Schweiz bleiben: «Ich bin ein Frischluftfreak. Ich fahre Rennrad, gehe wandern und mache Triathlon. Das alles kann ich in der Schweiz bestens ausleben.»

Abschliessend gehen wir vom Restaurant gemeinsam zum Bildungszentrum, denn ich möchte sehen, wo ab Oktober die Vorlesungen stattfinden. Im Eingang spielt Boris an einer Station, an der man verschiedene Materialien auf ihre Eignung zur Strahlenabschirmung testen kann. Fast blind dreht Boris auf das Material mit der geringsten Abschirmung: Holz.

Während beide fachsimpelnd durch die Gänge laufen, muss ich passen. Mein Vierer in Physik rächt sich einmal mehr. Doch ich verstehe, was sie motiviert, und bewundere diesen Enthusiasmus für das Studium und das Thema im Allgemeinen. ♦

Aktuelles aus der PSI-Forschung

1 100 Prozent Bio

Erfolgreiches Pilotexperiment an Biomolekülen an der neuesten Grossforschungsanlage des PSI: Der Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL hat erstmals sein starkes Licht auf Proteinkristalle gerichtet und damit deren Struktur sichtbar gemacht. Die besonderen Eigenschaften des Röntgenlasers ermöglichen völlig neuartige Experimente, bei denen man jetzt analysieren kann, wie sich Proteine bewegen und wie sich ihre Struktur verändert. Die neue Methode ist in der Schweiz nur am PSI möglich und wird Erkenntnisse liefern, mit denen die Entdeckung neuer Medikamente und damit neuer Therapien für Patienten ermöglicht wird. Das Pilotexperiment fand in Zusammenarbeit mit dem Biotechunternehmen leadXpro AG statt.

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

2 Effiziente Krebstherapie

Ein am PSI entwickelter, radioaktiver Wirkstoff gegen eine besonders bösartige Form von Schilddrüsenkrebs hat das Potenzial für einen Medikamenten-Blockbuster. Durch seine Struktur kann er womöglich auch an Zellen anderer Tumore andocken und diese mit seiner Strahlung zerstören – sofern sie an ihrer Oberfläche die passenden Rezeptoren tragen. Ein solcher Tumor ist das kleinzellige Lungenkarzinom. Da es gegen beide Krebsarten keine wirklich effektive Behandlung gibt, will das Lausanner Biopharma-Unternehmen Debiopharm den PSI-Wirkstoff bis zur Zulassung als Arzneimittel weiterentwickeln. Dafür haben Debiopharm und das PSI einen Lizenzvertrag abgeschlossen.

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

3 Energiesparende Datenspeicher

Computer verbrauchen oft viele Kilowattstunden Strom pro Jahr. Ein Grossteil davon geht auf das Konto der Datenspeicherung, bei der klassischerweise ein Magnetkopf die ebenfalls magnetischen Bits auf die Festplatten schreibt. Liessen sich dagegen sogenannte Multiferroika als Speichermedien nutzen, könnten die magnetischen Bits stattdessen durch Anlegen eines elektrischen Feldes geschrieben werden. Dies wäre deutlich energiesparender, weshalb Multiferroika als Wundermaterial für künftige Datenspeicher gelten. Der Haken: Bisherige Multiferroika behielten ihre besonderen Eigenschaften nur bei niedrigen Temperaturen. Forschende am PSI haben nun gemeinsam mit Kollegen vom Institut Laue-Langevin ILL in Grenoble ein Material erschaffen, das eine der nötigen Eigenschaften bis 100 Grad Celsius zeigt. Damit haben sie das Material einen wichtigen Schritt Richtung Praxistauglichkeit gebracht.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/5tGa>

4 Neues zur Kleinen Eiszeit

In der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts führte eine Serie grosser Vulkanausbrüche in den Tropen zu einer vorübergehenden globalen Abkühlung des Erdklimas, was zu einem weiteren Vorstoss der Alpengletscher in dieser letzten Phase der sogenannten Kleinen Eiszeit führte. Der anschliessende Rückgang der Alpengletscher war ein natürlicher Prozess und nicht wie bislang vermutet durch den industriellen Russ ab der Mitte des 19. Jahrhunderts ausgelöst. Dies haben PSI-Forschende anhand von Eisbohrkernen nachgewiesen, indem sie erstmalig die im Eis eingeschlossene und so historisch archivierte Russmenge analysiert haben. Die hierbei ermittelten Werte zum zeitlichen Verlauf der Russmenge könnten zudem in zukünftige Klimamodelle einfließen und diese damit genauer machen.

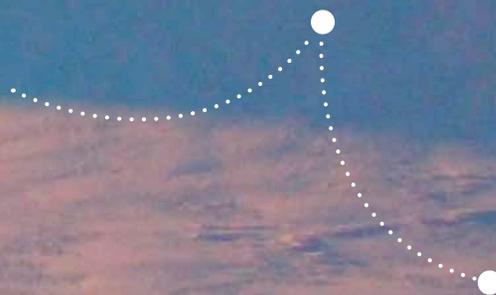
Weitere Informationen:

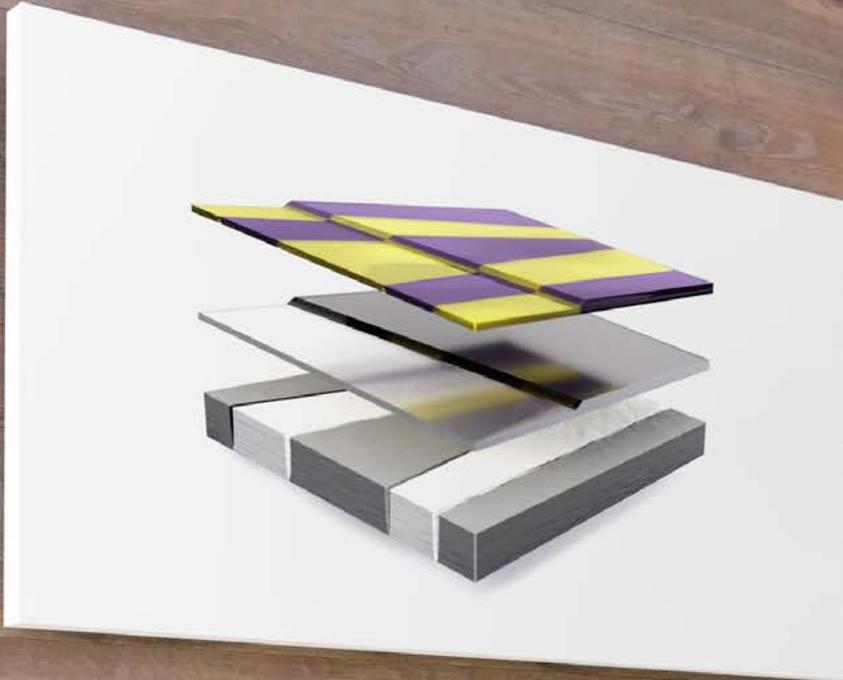
<http://psi.ch/tGJi>

Die Luftzusammensetzung vom Jahr **1740** bis heute haben PSI-Forschende aus dem Eis der Alpengletscher rekonstruiert.

Vom **15.** bis ins 19. Jahrhundert herrschte die Kleine Eiszeit, während der die Alpengletscher stark wuchsen und hinterher entsprechend schrumpften.

80 Prozent des damaligen Rückgangs der Alpengletscher geschahen zwischen 1850 und 1880 – bevor eine relevante Menge an industriellem Russ in der Atmosphäre war.





Kippschalter für Multiferroika (2018)

Dieses Bild erschuf die Physikerin Naëmi Leo während ihrer Zeit als Postdoc am PSI. Es ist eine Auswertung von Experimenten, die an der Grossforschungsanlage SINQ des PSI durchgeführt wurden, und versinnbildlicht, wie die Eigenschaften eines multiferroischen Materials – von unten nach oben betrachtet – umgeschaltet werden. Als Multiferroika werden Materialien bezeichnet, deren magnetische und elektrische Eigenschaften aneinandergeschnitten sind. Was genau in solchen Materialien passiert und wie man diese Vorgänge für neue Materialien in der Elektronik, zum Beispiel für neuartige Datenspeicher, nützen könnte, daran forschen Wissenschaftler am PSI.

Moderne Meisterwerke

GALERIE

An der Art Basel sind sie in diesem Jahr nicht zu sehen. Ausstellungstauglich sind sie dennoch, unsere modernen Meisterwerke. Wir haben sie direkt in unsere Wohnzimmer gehängt. Was uns die Künstler mit ihren Werken sagen wollen, daran gibt es keinen Zweifel. Die sind nämlich eigentlich Forschende und schreiben in renommierten Fachzeitschriften für ein Expertenpublikum nieder, was es mit ihren Bildern auf sich hat. Höchste Zeit mal nachzuschauen, wozu das – ausser dekorativ – gut sein soll.

Text: Dagmar Baroke





Die Bandstruktur der Spinonen (2018)

Auch bei dieser Arbeit geht es darum, die Eigenschaften von Materialien zu verstehen. Die beiden Grafiken zeigen die bildliche Darstellung einer bestimmten Materialeigenschaft: der Spinon-Dispersion. Bruce Normand, theoretischer Physiker am PSI, und sein Kollege Zheng Xin Liu aus Beijing präsentieren hiermit ihre Berechnungen für ein Material, das sich anders verhält als vergleichbare seiner Klasse. Ihre Arbeit ist ein Schritt auf dem Weg zu neuen Computern, die einmal unsere binär arbeitenden Rechner ablösen sollen: Die Quantencomputer, in deren Entwicklung derzeit auch grosse Computerfirmen investieren.





Wirbel um den Bloch-Punkt (2017)

Diese Grafik stellt einen sogenannten Bloch-Punkt dar. Die Physikerin Claire Donnelly entdeckte ihn in ihren Messdaten. Obwohl Bloch-Punkte schon vor über 60 Jahren vorhergesagt wurden, konnten sie bis zu dieser Studie nie direkt beobachtet werden. In einem Bloch-Punkt ändert sich die Richtung der Magnetisierung abrupt. Auf dem Bild sieht man, wie daher die Richtung der Magnetisierung rund um den Blochpunkt einen Wirbel bildet. Magnete werden in Motoren eingesetzt, in der Stromproduktion und in der Datenspeicherung. Ein besseres Verständnis der grundlegenden Eigenschaften von magnetischen Materialien trägt daher auch zur Verbesserung dieser Technologien und damit unseres Alltags bei.



Eine Antenne für Spinwellen (2016)

Dieses Bild ist aus Daten entstanden, die an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI gemessen wurden. Man sieht einen magnetischen Wirbel, in dessen Zentrum der magentische Spin nach oben gerichtet ist. Dies fungiert als eine Nanoantenne, die – unter Einfluss eines hochfrequenten magnetischen Wechselfelds – Spinwellen mit extrem kurzer Wellenlänge aussendet. Der Physiker Sebastian Wintz und seine Kollegen haben damit einen Mechanismus nachgewiesen, der ein grosses Potenzial für zukünftige Anwendungen in der Datenverarbeitung hat.



Die unerwartete Drehung der Nanomagnete (2017)

Diese Arbeit zeigt die Simulation einer Struktur aus Nanomagneten. Die Daten dazu entstanden, als der Physiker Sebastian Gliga und seine Kollegen winzige Permalloy-Magnete an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI untersuchten. Beim Experiment drehten sich die Nanomagnete in einer Art und Weise, die die Forschenden nicht erwartet hätten. Mit diesem neuen Wissen lassen sich möglicherweise Geräte verbessern, die nur wenige Nanometer gross sind, wie magnetische Nanomotoren, Antriebselemente, Sensoren oder Datenspeicher.

Kinder sind ihre Leidenschaft

Am Paul Scherrer Institut PSI baute Beate Timmermann ein Programm zur Protonentherapie von krebskranken Kindern auf und zog zugleich ihren Sohn gross. Heute leitet sie die Klinik für Partikeltherapie am Westdeutschen Protonentherapiezentrum (WPE) in Essen und gilt als eine der versiertesten Experten auf dem Gebiet.

Text: Joel Bedetti

Die grosse Karriere hatte Beate Timmermann nie geplant. In ihrer Jugend sah sich Timmermann noch als Kinderärztin mit eigener Praxis. Heute ist die 51-Jährige Professorin, Klinikleiterin und führende Spezialistin auf dem Gebiet der Protonentherapie bei pädiatrischen Tumoren. Ihr Vorbild war der Hausarzt ihrer Familie in Hamburg, wo Timmermann aufwuchs. «Das war ein Arzt alter Schule», erzählt Timmermann, «der noch auf Hausbesuch kam und dem man das Herz ausschütten konnte.» Noch als Medizinstudentin beriet sich Beate Timmermann mit ihrem Hausarzt, wenn schwierige Uniprüfungen anstanden.

Die Prüfungen bestand sie. Doch dann machte ihr die «Ärztenschwemme» einen Strich durch ihren Lebensplan. In den 90er-Jahren schlossen in Deutschland so viele Mediziner ihr Studium ab, dass die Jobs knapp wurden. «Man schrieb Dutzende Bewerbungen», sagt Timmermann, «da durfte man nicht wählerisch sein.» Schliesslich erhielt die junge Ärztin eine Stelle an der Universitätsklinik in Tübingen – als Radiotherapeutin. «Ich hatte keine Ahnung davon.» Timmermann lacht, als sie dies erzählt. Der Trost: In Tübingen konzentrierte man sich auf die Behandlung von Tumoren bei Kindern.

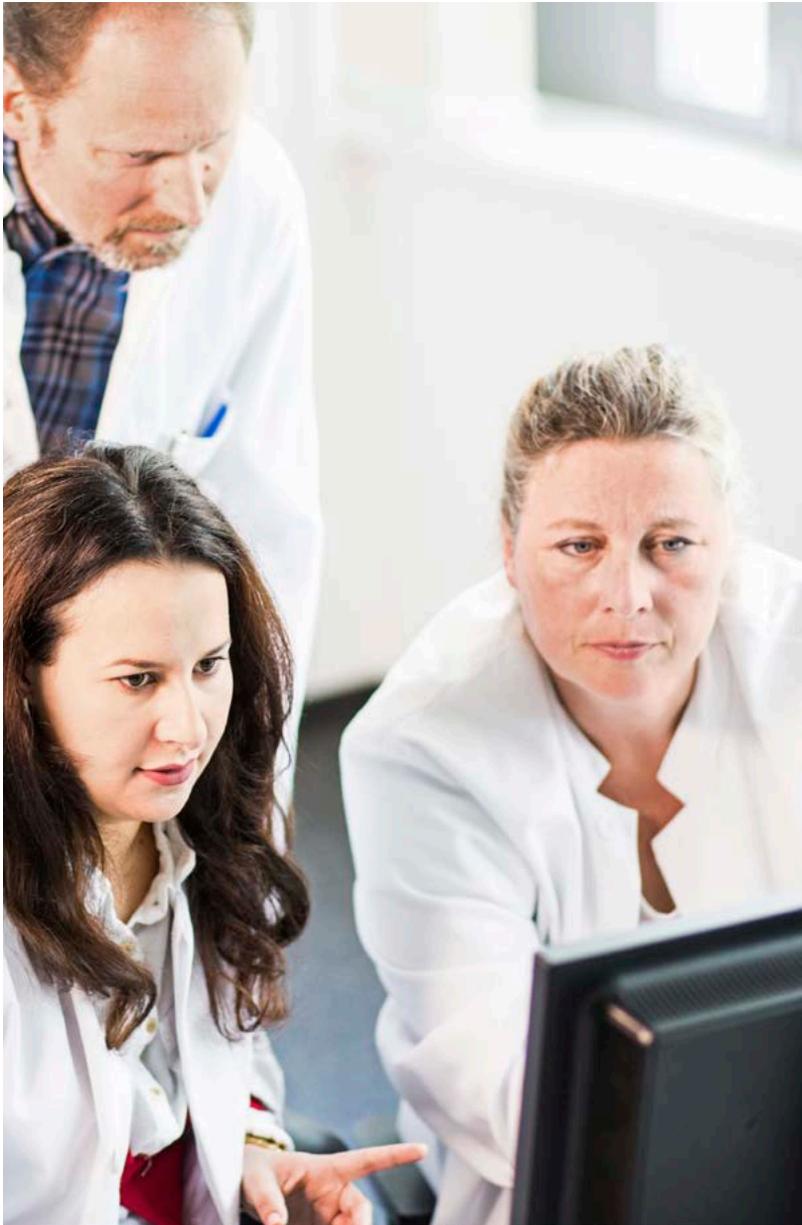
Statt in einer Landarztpraxis fand sich Timmermann im hektischen Alltag einer Universitätsklinik wieder. «Wissenschaft konnte ich eigentlich nur nachts betreiben», erinnert sie sich. «Tagsüber konnte ich dafür aber tiefe Einblicke in ein sehr brei-

tes und herausforderndes Spektrum der modernen Strahlentherapie gewinnen.» Nach beendeter Facharztprüfung und Dissertation über Radiotherapie von Kindern las Timmermann in einem Artikel über eine neuartige Behandlungsmethode: Radiotherapie mit Protonen. In der konventionellen Behandlung mit Photonen entfacht der Radiostrahl beim Auftreffen auf den Körper die grösste Wirkung – obwohl der Tumor oft tiefer liegt. Der Protonenstrahl entfaltet seine grösste Wirkung erst bei einer definierten Eindringtiefe – dem Tumor. Die Kollateralschäden am gesunden Gewebe sind so viel geringer.

Protonentherapie auch für Kinder

Im Frühling 2002 suchte die damalige Abteilung für Strahlenmedizin ASM des Paul Scherrer Instituts (heute: Zentrum für Protonentherapie ZPT) per Inserat im Deutschen Ärzteblatt nach einer ärztlichen Unterstützung. Die ASM gehörte zu den Pionierinstituten der Protonentherapie: Seit 1984 behandelte sie Augentumore, seit 1996 stand mit der Gantry 1 das erste mit Spot-Scanning-Technik (auch Pencil-Beam-Scanning genannt) ausgerüstete Therapiegerät zur Bekämpfung von tief liegenden Tumoren im Einsatz. Diese Technik ermöglicht eine punktgenaue Bestrahlung und eignet sich daher besonders für die Behandlung von Tumoren an kritischen Stellen wie beispielsweise im Gehirn. Timmermann bewarb sich – und hatte auch schon einen Plan, als sie





«Gerade bei kleinen Kindern sind viele Ärzte vorsichtig, weil eine Radiotherapie bleibende Schäden hinterlassen kann. Deshalb sehe ich hier viel Potenzial für die Protonentherapie.»

Beate Timmermann, Direktorin der Klinik für Partikeltherapie,
Universitätsklinikum Essen



sich bei der damaligen Abteilungsleiterin Gudrun Goitein vorstellte: Sie wollte die Protonentherapie für Kinder etablieren. «Gerade bei kleinen Kindern sind viele Ärzte vorsichtig, weil eine Radiotherapie bleibende Schäden hinterlassen kann», sagt Timmermann. «Deshalb sah ich gerade hier viel Potenzial für die Protonentherapie.»

Mit ihrer Idee rannte sie am PSI offene Türen ein. Sie bekam die Stelle. Der Wechsel in die Grundlagenforschung war ein Kulturschock – ein positiver. Die Gantry 1 stand zu jener Zeit regelmässig mehrere Monate wegen Wartungs- und Entwicklungsarbeiten am grossen Protonenbeschleuniger des PSI still. Der grosse Protonenbeschleuniger erzeugt den für die Behandlung benötigten Protonenstrahl. Die stressgewohnte Ärztin konnte also plötzlich wertvolle Zeit für die Wissenschaft nutzen. Sie begann eine Habilitation an der Uni Münster und nahm Kontakt zur Onkologie des Zürcher Unispitals sowie zur Anästhesie des Kinderspitals Zürich auf, welche in die Behandlung der Kinder einbezogen werden sollten. Einzelne Kolleginnen und Kollegen seien anfangs skeptisch gewesen, ob dieses schwierige Vorhaben gelingen kann, erzählt Timmermann. Es gelang ihr jedoch, die Kritiker zu überzeugen.

Nicht lange nach Stellenantritt wurde dann ihr Sohn geboren. Da ihr Partner damals noch in München wohnte, musste sie ihren Sohn nach der Geburt praktisch zunächst im Alleingang betreuen. Nach dem Mutterschaftsurlaub nahm die Kiwi, die Kinderkrippe des PSI, ihren viermonatigen Sohn auf – damals eine Ausnahme bei einem Säugling. «Dafür war ich enorm dankbar», erinnert sich Timmermann, «ich hatte in der Schweiz noch keine Freunde oder Familie, die mir hätten helfen können.» An die Grenze stiess sie beim Schaukeln von Job und Kind trotzdem manchmal, doch sie kriegte es hin – auch weil bald ihr Partner in die Schweiz zügelte.

Ab 2004 waren ihre Therapieplätze für Kinder fester Bestandteil des Programms. Die Behandlungserfolge erstaunten selbst Timmermann. «Wir konnten Tumore mit hohen Dosen bekämpfen, ohne dass Kollateralschäden auftraten.» Die Ärztin war zudem massgeblich an der Weiterentwicklung der Protonentherapie am PSI beteiligt. Weil Timmermann auch grossflächige Tumore bekämpfen wollte, etwa am zentralen Nervensystem, entwickelte sie mit Physikern und Technikern eine Behandlungsmethode mit einer beweglichen Tischplatte. «Anhand von

Puppen ermittelten wir die idealen Liegepositionen der Patienten», erinnert sie sich «das ganze Team hat mitgetüftelt, das war sehr motivierend.»

Besuch aus PSI-Zeiten

2009 rückte die Einschulung ihres Sohnes näher. Timmermann, inzwischen stellvertretende Leiterin des neuen ZPT, wusste: Sie wollte nach Deutschland zurück. Damals verbreitete sich die Protonentherapie in Europa, alleine in Deutschland wurden gleich zwei Anlagen gebaut. Timmermann erhielt ein Angebot von der Uniklinik Essen, wo unter dem Dach des Westdeutschen Tumorzentrums ein Protonenbestrahlungsinstitut entstand. Später kam dann der Ruf auf die Professur für Partikeltherapie. Das PSI verliess sie mit schwerem Herzen. «Ich hatte dort Freunde gefunden», sagt sie. «Mein Sohn wuchs praktisch hier auf.»

Umso erstaunter war Timmermann bei der Ankunft in Essen. Die Protonenbestrahlungseinheit war noch nicht betriebsbereit. Es folgten vier Jahre Verhandlungen zwischen Uniklinik und Hersteller. Zeitweise stand das ganze Vorhaben auf der Kippe. «Da dachte ich dann schon: Hat sich dieser Umzug gelohnt?», erzählt Timmermann. 2013 ging der Betrieb endlich los. Heute hat die von Beate Timmermann geleitete Klinik für Partikeltherapie am Westdeutschen Protonentherapiezentrum (WPE) vier Bestrahlungsräume und behandelte letztes Jahr 500 Patienten, knapp die Hälfte davon Kinder. «Das ist das grösste Programm dieser Art in Europa», sagt Timmermann.

Sie selbst gilt inzwischen als führende Expertin in der Protonentherapie für Kinder. «Meine Referate beginne ich fast immer mit der Zeit am PSI», sagt Timmermann. «Jeder, der sich mit Protonentherapie beschäftigt, weiss, welche Pionierrolle das PSI darin einnimmt.» Mit ehemaligen Kollegen aus Villigen hat Timmermann per E-Mail Kontakt, andere trifft sie an Kongressen wieder. Und dann gibt es da noch diesen Besuch aus der PSI-Zeit, den Beate Timmermann fast jedes Jahr in Essen erhält. Ein Junge, den sie von einem Hirntumor befreite. «Ich sehe, wie er aufwächst und zur Schule geht», sagt Timmermann, «das ist ein schöner Beweis für den Erfolg der Protonentherapie.» ◆

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 unge-rechtfertigt, finden wir, bei einem Insti-tut, das sich über 352 643 Quadratmeter erstreckt, eine eigene Brücke über die Aare besitzt und mit 2000 Beschäftigten mehr Mitarbeitende hat, als so manches Dorf in der Umgebung Einwohner.

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

Komplexe Grossforschungsanlagen

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

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

Um Messzeit für Experimente zu er-halten, müssen sich die Forschenden aus dem In- und Ausland jedoch beim PSI bewerben. Mit Experten aus aller Welt besetzte Auswahlkomitees bewerten diese Anträge auf ihre wissenschaft-liche Qualität hin und empfehlen dem PSI, wer tatsächlich Messzeit bekom-men soll. Denn obwohl es rund 40 Mess-plätze gibt, an denen gleichzeitig Ex-perimente durchgeführt werden können, reicht die Zeit nie für alle eingegan-genen 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 ihre

4

schweizweit einzigartige
Grossforschungsanlagen

800

Fachartikel jährlich, die auf
Experimenten an den
Grossforschungsanlagen beruhen

5000

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

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

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

Drei eigene Schwerpunkte

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

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

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

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

und sichere Energieversorgung sowie für eine saubere Umwelt.

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

Die Köpfe hinter den Maschinen

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

IMPRESSUM

5232 – Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

Erscheint dreimal jährlich.
Ausgabe 1/2019 (Januar 2019)
ISSN 2504-2262

Herausgeber

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

Redaktionsteam

Dagmar Baroke, Monika Blétry,
Martina Gröschl,
Christian Heid,
Dr. Laura Hennemann (Ltg.)

Design und Art Direction

Studio HübnerBraun

Fotos

Scanderbeg Sauer Photography, ausser:
Seiten 26, 27: Martina Barandun;
Seiten 28–32: www.unsplash.com;
Seite 33: www.kaboompics.com;
Seiten 35–37: Westdeutsches Protonentherapiezentrum Essen;
Seiten 9, 38: Markus Fischer;
Seite 41: Michael Sigl.

3-D-Objekte und Visualisierung

Incursion / Manuel Guédes

Grafiken

Studio HübnerBraun, ausser:
Seiten 6, 7: Nick Radford – Folio Art;
Seiten 3, 18, 19: Christoph Frei.

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

Im Internet finden Sie 5232 unter
www.psi.ch/5232/magazin-5232

Sie können das Magazin kostenlos abonnieren unter
www.psi.ch/5232/5232-abonnieren

5232 ist auch auf Französisch erhältlich
www.psi.ch/5232/le-magazine-5232

PAUL SCHERRER INSTITUT





Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

Das Paul Scherrer Institut PSI ist für seine Grossforschungsanlagen bekannt – aber manche der hiesigen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nutzen eine noch viel grössere Forschungsanlage: die Natur. Sie steigen auf die höchsten Berge der Alpen oder der Anden, um Eisbohrkerne zu bergen, in denen die Luftzusammensetzung vergangener Jahrhunderte archiviert ist. Sie reisen auf Forschungsschiffen in die Polargebiete der Erde, um fernab zivilisatorischer Luftpartikel die Wolkenbildung zu erforschen. Und sie kehren zurück ans PSI, um ihre Proben zu untersuchen und Daten auszuwerten. Damit tragen sie dazu bei, globale Fragen zu klären: Wie sah das Klima der Vergangenheit aus? Wie wird sich das Klima der Zukunft entwickeln? In der kommenden Ausgabe stellen wir die PSI-Forschenden vor, die für die Wissenschaft an die wahrlich frische Luft gehen.



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