

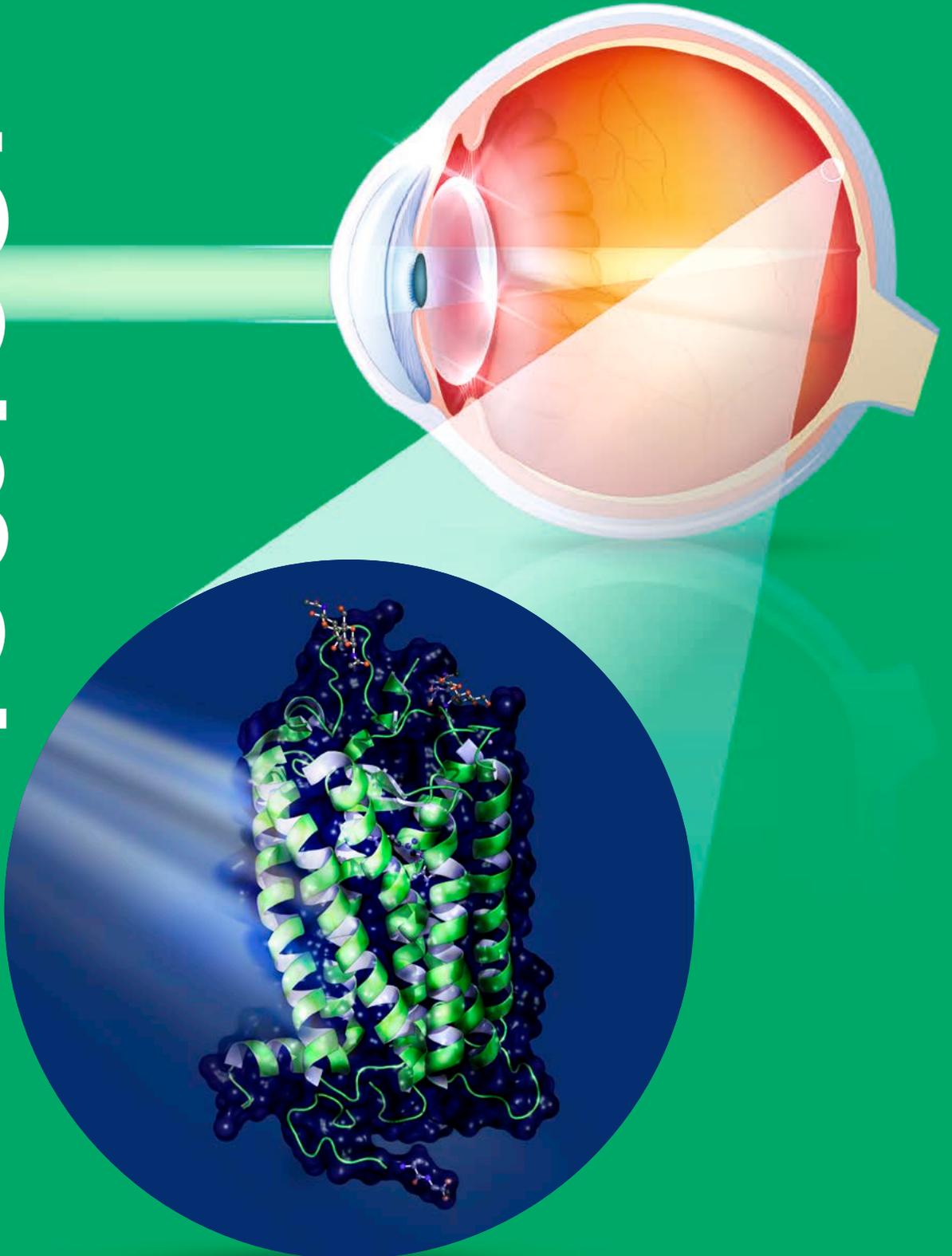
SCHWERPUNKTTHEMA

LICHTEMPFLINDLICHE SCHALTER IM AUGE

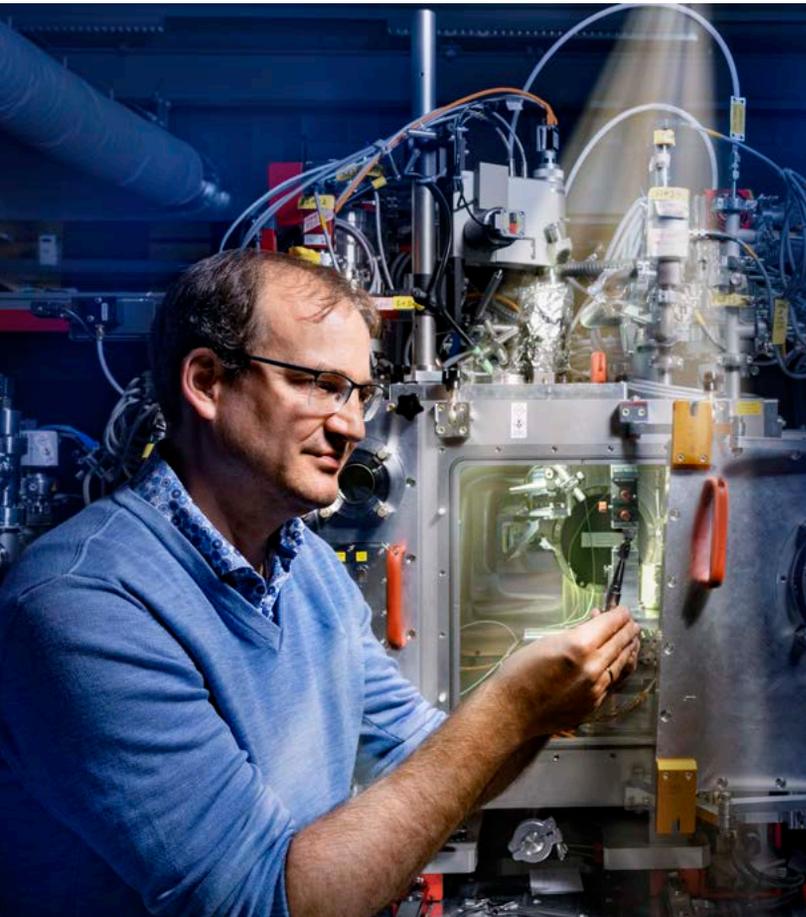
Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

01/2022

2022



SCHWERPUNKTTHEMA: LICHTEMPFLINDLICHE SCHALTER IM AUGE



HINTERGRUND

Die wundersame Welt der Lichtantennen

Ohne sie wäre die Welt für uns dunkel: Lichtrezeptoren in unserem Auge. Am PSI können Forschende dank der besonderen Grossforschungsanlagen wie dem Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL und der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS die letzten Geheimnisse dieser einzigartigen Biomoleküle entschlüsseln. Dieses Wissen ebnet den Weg zur Therapie von Krankheiten und völlig neuen Möglichkeiten, unseren Körper zu erforschen.

Seite 10

1

HINTERGRUND

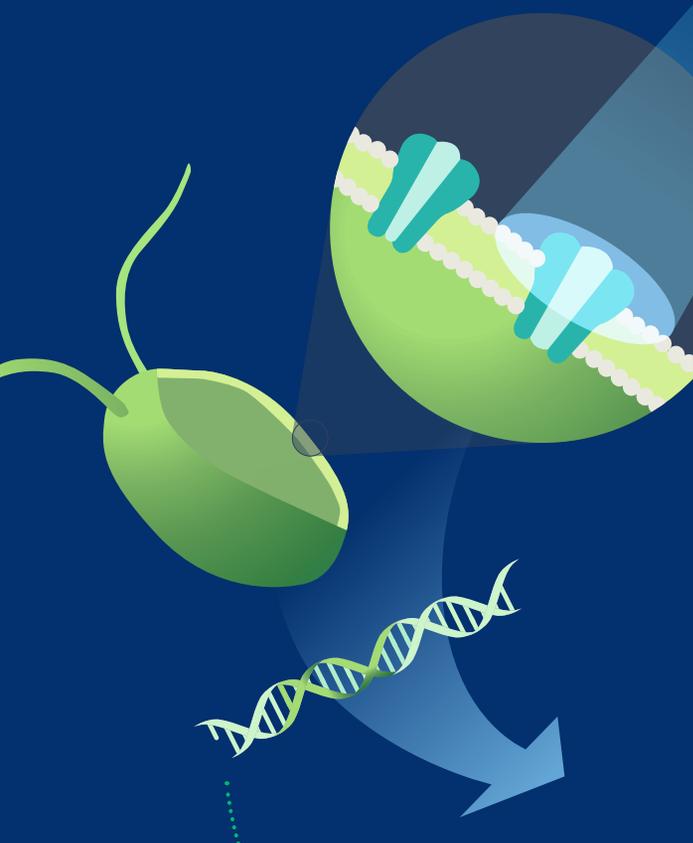
Cooler Newcomer

Ein vergleichsweise neues Verfahren in der Elektronenmikroskopie ergänzt die Grossforschungsanlagen des PSI ideal und ermöglicht verblüffende Einsichten in die Welt der Lichtrezeptoren.

Seite 18

3





2

INFOGRAFIK

Zellen mit Licht steuern

In einem gross angelegten Projekt wollen Forschende am PSI in einem multinationalen Konsortium ein noch junges Forschungsgebiet revolutionieren: die Optogenetik.

Seite 16

INHALT

NACHGEFRAGT

Was machen Sie da, Herr Rüegg? 4

ALLTAG

Kalte Füsse 6

FORSCHUNG

Sauberer Heizstoff 7

SCHWERPUNKTTHEMA:

LICHTEMPFLINDLICHE SCHALTER IM AUGE 8

HINTERGRUND

Die wundersame Welt der Lichtantennen 10

INFOGRAFIK

Zellen mit Licht steuern 16

HINTERGRUND

Cooler Newcomer 18

IM BILD

Im Inneren des Herzens 21

IN DER SCHWEIZ

Rettung für das eisige Gedächtnis der Erde 22

Unter Beteiligung von PSI-Forschenden will ein internationales Konsortium Bohrkern aus den Gletschern der Erde im ewigen Eis konservieren.

IN KÜRZE

Aktuelles aus der PSI-Forschung 26

- 1 Protonen gegen Lungenkrebs
- 2 Neuer Wirkstoff gegen Parasiten
- 3 1000 Tomogramme pro Sekunde
- 4 CO₂ als wertvolle Ressource

GALERIE

Geräusche der Forschung 28

Diese Galerie versucht das scheinbar Unmögliche: Sie verbildlicht die Klangkulisse des PSI.

ZUR PERSON

Tüfteln und optimieren 34

Vor fünfzehn Jahren baute sie eine Strahllinie an der SLS auf. Heute leitet Iris Schmid das Produktmanagement eines Herstellers für Zugsteuerungssysteme.

WIR ÜBER UNS 38

IMPRESSUM 40

AUSBLICK 41

Herr Rüegg, was hat die Forschung am PSI mit unseren Augen zu tun?

Wie so vieles in unserem Körper haben wir auch unseren Sehsinn letztendlich Proteinen zu verdanken – grossen biologischen Molekülen, die in jeder Zelle spezielle, meist lebenswichtige Aufgaben übernehmen. Man kann ohne Übertreibung sagen, dass sämtliches Leben auf der Erde nur mit Proteinen möglich ist. Und ja: Wir Menschen können nur deswegen sehen, weil wir auch in unserer Netzhaut solche spezialisierten Proteine haben, die Lichtrezeptoren. Trifft auf diese ein Lichtstrahl, verändern sie ihre dreidimensionale Struktur; dadurch entsteht ein Signal, welches am Ende im Gehirn zu einem Seheindruck verarbeitet wird. Das ist schon genial, was sich da im Laufe der Evolution entwickelt hat. Wir sind darauf spezialisiert, mit unseren Grossforschungsanlagen Proteine zu untersuchen, zum Beispiel für die Erforschung von neuen Wirkstoffen durch die Pharmaindustrie oder eben von Lichtrezeptoren. Bei ihrer Erforschung hilft uns insbesondere der Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL.

Wieso eignet sich für diese Forschung der SwissFEL so gut?

Die Schnelligkeit gibt hier den Ausschlag. Der Vorgang, der jedes Mal als Erster abläuft, sobald ein Lichtstrahl auf unser Auge trifft, ist einer der schnellsten, den es in unserem Körper überhaupt gibt. Innerhalb von milliardstel Bruchteilen einer Sekunde legt sich in dem Protein quasi ein Schalter um, der signalisiert: «Ich hatte Kontakt mit einem Lichtstrahl.» Das geht also blitzschnell. Solche Vorgänge in biologischen Molekülen lassen sich eben besonders gut mit dem SwissFEL untersuchen, beispielsweise an der Experimentierstation Bernina, in deren Kontrollraum ich mich hier befinde. Wir haben mit dem SwissFEL schon viele spannende Rätsel rund um lichtempfindliche Proteine gelöst und sind zuversichtlich, in Zukunft noch weitere zu lösen. Das Sehen ist der Sinn, der uns Menschen besonders stark prägt, von daher ist es erstaunlich, wie viel wir darüber noch immer nicht wissen und deshalb am PSI erforschen können.

Findet diese Forschung denn ausschliesslich am SwissFEL statt?

Oh, nein! Es ist gerade die Vielfalt an Forschungsanlagen hier am PSI und im ETH-Bereich, die es unseren Forschenden ermöglicht, so vielen Geheimnissen rund um Proteine jeglicher Art auf die Spur zu kommen. Unsere Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS etwa eignet sich hervorragend, um herauszufinden, wie Proteine aufgebaut sind und wie sie im dreidimensionalen Raum vorliegen. Mehr als 8000 Strukturen wurden bereits an der SLS gelöst. Und vergessen wir nicht die Kryo-Elektronenmikroskopie, die unsere Forschenden in Zusammenarbeit etwa mit der ETH Zürich oder dem Biozentrum in Basel benutzen. Diese Technik hat in den letzten Jahren erstaunliche Fortschritte gemacht, etwa wenn es darum geht, Komplexe aus mehreren Proteinen zu untersuchen. Ganz klar: Um Proteinstrukturen mit Röntgenlicht zu untersuchen, gibt es auf der Welt fast keinen besseren Ort als das PSI.



NACHGEFRAGT

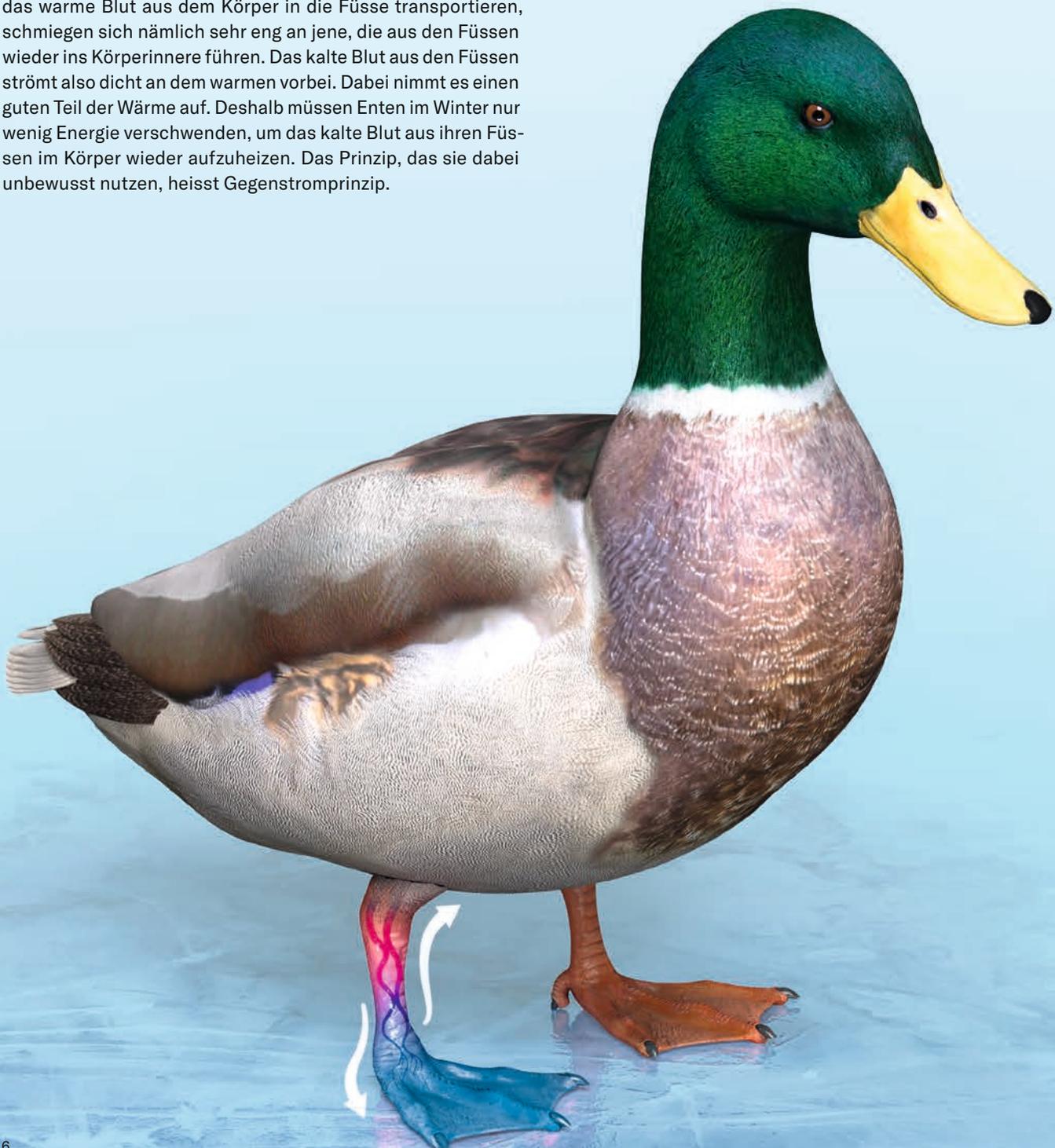
Was machen Sie da, Herr Rüegg?

Bei der Erforschung von Proteinen – zum Beispiel von Lichtrezeptoren, wie sie auch in unseren Augen vorkommen – ist das Paul Scherrer Institut eine der weltweit führenden Institutionen. Direktor Christian Rüegg erklärt, warum sich diese Biomoleküle am PSI so hervorragend untersuchen lassen.

Kalte Füße

Brrrrr. Wer im Winter Enten oder andere Wasservögel im eisigen Wasser schwimmen sieht oder sie gar beim Watscheln über einen zugefrorenen Teich beobachtet, den fröstelt es. Würden wir Menschen Letzteres mit blossen Füßen tun, dann wären wir schnell ausgekühlt und unsere Körpertemperatur würde bedrohlich tief absinken.

Dass es Enten, die für gewöhnlich eine noch höhere Körpertemperatur aufweisen als wir, nicht genauso geht, liegt nicht nur an ihrem wärmenden Federkleid. Um den Wärmeverlust über ihre Füße einzudämmen, hat sie die Natur mit einer ganz besonderen Vorrichtung versehen. Die Blutgefäße, die das warme Blut aus dem Körper in die Füße transportieren, schmiegen sich nämlich sehr eng an jene, die aus den Füßen wieder ins Körperinnere führen. Das kalte Blut aus den Füßen strömt also dicht an dem warmen vorbei. Dabei nimmt es einen guten Teil der Wärme auf. Deshalb müssen Enten im Winter nur wenig Energie verschwenden, um das kalte Blut aus ihren Füßen im Körper wieder aufzuheizen. Das Prinzip, das sie dabei unbewusst nutzen, heisst Gegenstromprinzip.



Sauberer Heizstoff

Das Gegenstromprinzip kommt bei vielen technischen Verfahren zur Anwendung. Grundsätzlich werden dabei zwei Stoffströme in entgegengesetzter Richtung aneinander vorbeigeführt, um einen Wärme- oder Stoffaustausch zu befördern. Das nutzen auch Forschende am PSI, beispielsweise bei der Optimierung der Biomethanproduktion. Biogas entsteht bei der Vergärung von Bioabfällen und ist ein Gemisch aus Kohlendioxid, Methan und Spuren weiterer Substanzen. Deshalb kann es nicht direkt in das bestehende Erdgasnetz eingespeist werden.

Bei der entsprechenden Vorbereitung für die Nutzung im Erdgasnetz müssen immer wieder Gase voneinander getrennt werden, beispielsweise Methan, Wasserstoff und Kohlendioxid. Eine Möglichkeit dafür bieten Membranen, die selektiv Gase filtern, deren Bestandteil eine gewisse Grösse überschreitet – in der Grafik sind beispielhaft Methan (braun-gelbe Kugeln) und Kohlendioxid (braun-blaue Kugeln) gezeigt. Dasselbe funktioniert auch für die Trennung von Methan, Kohlendioxid und Wasserstoff. Forschende des PSI haben in einer Studie aufgezeigt, wie man Letzteren besonders effektiv von Methan abtrennen kann, wenn das Prinzip des Gegenstroms zur Anwendung kommt.

HINTERGRUND

Die wundersame Welt
der Lichtantennen

Seite 10

1

2

INFOGRAFIK

Zellen mit Licht steuern

Seite 16

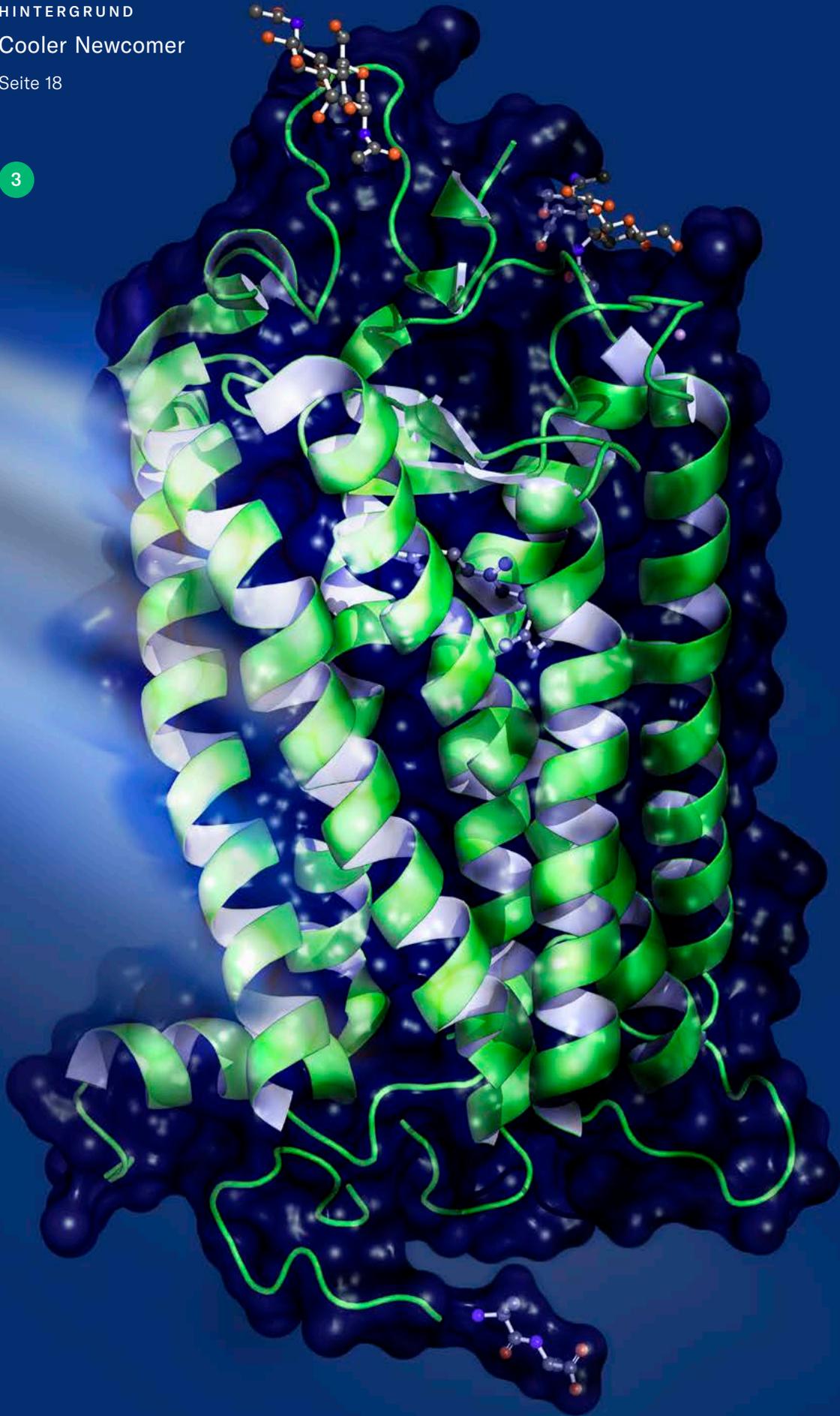
SCHWERPUNKTTHEMA

Lichtempfindliche Schalter im Auge

Wenn Licht in unsere Augen fällt, dann registrieren das bestimmte Moleküle in den Zellen unserer Netzhaut. Das ist der Ausgangspunkt für das Sehen. Doch mit der Hilfe dieser faszinierenden Erfindung der Natur kann man auch ganz besondere Forschung betreiben, denn mit diesen Sensoren lassen sich Zellen steuern.

HINTERGRUND
Cooler Newcomer
Seite 18

3



Die wundersame Welt der Lichtantennen

In der Evolution war die Entstehung von lichtempfindlichen Proteinen ein herausragender Schritt: Nur dank ihnen können wir sehen. Die Grossforschungsanlagen des PSI helfen, die letzten grossen Geheimnisse rund um diese aussergewöhnlichen Zellbestandteile zu lüften. Dabei haben die Forschenden noch ein weiteres Ziel: mithilfe der Lichtrezeptoren gezielt Prozesse in Zellen an- und abzuschalten.

Text: Brigitte Osterath



Gebhard Schertler, Leiter des PSI-Bereichs Biologie und Chemie, erklärt, was zu Beginn jedes Sehprozesses passiert: Das kleine Molekül Retinal in unserem Auge verändert bei Lichteinfall seine Form.

Ohne sie wäre die Welt für uns immer und überall schwarz. Dass wir den blauen Himmel betrachten, ein Buch lesen oder einen Actionfilm im Fernsehen verfolgen können – all das haben wir den Fotorezeptoren zu verdanken: Proteinen, die auf Licht reagieren.

Allen Lebensformen leisten solche Proteine unentbehrliche Dienste: Einzellige Algen etwa fühlen mit ihrer Hilfe, wohin es sich zu schwimmen lohnt; Pflanzen können sich dank dieser Moleküle der Sonne zuwenden. Viele Tiere und der Mensch wiederum nehmen Licht mit hoch entwickelten Organen, den Augen, auf und verarbeiten die Signale im Gehirn zu komplexen Eindrücken. Auch unsere innere Uhr stellen solche Lichtrezeptoren jeden Tag aufs Neue ein.

Das Prinzip ist dabei stets gleich: Die Proteine sind in die Membranen – fetthaltige Hüllen um die Zellen – integriert und wandeln Licht in ein biologisches Signal um. Der erste und essenzielle Schritt ihrer Aktivierung ist dabei stets das Umlegen eines Schalters von «Aus» nach «Ein». Aber wie genau führt die in einem Lichtstrahl gespeicherte Energie Änderungen im Fotorezeptor herbei, die am Anfang aller weiteren Reaktionen stehen? «Bisher hat noch niemand diese grundlegende Frage ergründet», erläutert Gebhard Schertler, Leiter des PSI-Forschungsbereichs Biologie und Chemie, der seit über 30 Jahren an Proteinen dieser Art forscht. Um dieses und weitere Rätsel zu knacken, untersuchen PSI-Forschende die Struktur der lichtempfindlichen Proteine und deren dynamische Umwandlungen.

Wie die Katze auf den Füßen landet

Die Schaltprozesse, die in unseren Augen ständig ablaufen, sind unglaublich schnell und dauern nur billiardstel Bruchteile einer Sekunde. Um solche blitzartigen Vorgänge zu ergründen, bedarf es ganz spezieller Forschungsanlagen, etwa den Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL, die Ende 2016 eingeweihte und damit jüngste Grossforschungsanlage am PSI. «Mit ihm heben wir die Strukturbiologie auf die nächste Ebene», erklärt Jörg Standfuss, Wissenschaftler im PSI-Labor für biomolekulare Forschung. Mit dem SwissFEL können die Forschenden eine Art ultrahochauflösendes Video von biochemischen Prozessen drehen, um einen Vorgang bis ins letzte Detail zu studieren. «So können wir wirklich voll und ganz verstehen, wie diese lichtempfindlichen Proteine arbeiten.»

Zu den wichtigsten natürlichen Lichtrezeptoren beim Menschen und bei Tieren gehört die Familie der Rhodopsine. Im menschlichen Auge sind diese Proteine Bestandteil der Stäbchenzellen, den Sinneszellen, die auf die Hell-Dunkel-Wahrnehmung spezialisiert sind.

Rhodopsine haben in ihrer Mitte ein kleines längliches Molekül fixiert: Retinal, einen Abkömmling des Vitamins A. Trifft Licht auf Retinal, absorbiert das Molekül die Energie und wandelt sich in eine andere Form um (siehe Grafik links). Dabei verändert Retinal seine dreidimensionale Gestalt, und das wiederum führt zu strukturellen Veränderungen im Protein. Das kann jetzt an andere Proteine in der Zelle binden, die sogenannten G-Proteine, was wiederum eine Kaskade von biochemischen und biophysikalischen Vorgängen in Gang setzt. An deren Ende steht beispielsweise die Wahrnehmung eines Lichtblitzes.

Valérie Panneels, Wissenschaftlerin im PSI-Labor für biomolekulare Forschung, will verstehen, wie die Strukturänderung des Retinals im Inneren des Proteins genau vonstattengeht. «Vergleichen wir Retinal mit einer Katze, die mit dem Rücken voran vom Baum fällt und am Ende auf ihren Füßen landet. Die Frage ist: Welche Zustände nimmt die Katze während ihres Falls ein, also während sie sich vom Rücken auf den Bauch dreht?» Schon bei der Katze ist der Vorgang so schnell, dass man ihn mit blossen Auge nicht beobachten kann. Erst recht beim Retinal: Zwischenzustände existieren nur für einige Billiardstel einer Sekunde.

Inzwischen weiss Panneels, dass die Retinal-Katze erst ihre Schulter dreht und danach den Bauch. Ein grosses Rätsel ist jedoch nach wie vor die Frage, warum die Umwandlung des Retinals im Auge so effizient verläuft. «Es ist eine der schnellsten und gerichtetsten Reaktionen, die in der Natur vorkommen», sagt Valérie Panneels. Allerdings ist die Reaktion nur dann so effizient, wenn das Molekül im Protein gebunden ist; nicht, wenn es frei in Lösung herumschwimmt.

Das Protein nimmt also starken Einfluss auf die Richtung der Reaktion – aber wie genau, ist der Wissenschaft nicht klar. «Wenn man diese Frage beantworten könnte, hätte sich der Bau des SwissFEL bereits gelohnt», sagt Standfuss. Mit diesem Wissen ergäben sich zahlreiche neue Möglichkeiten für weitere Forschung und Anwendungen in Medizin und Biologie.

Pumpen statt Sehen

Im Laufe der Evolution haben sich lichtempfindliche Proteine auch zu einem anderen Zweck gebildet als für das Sehen: Sie ermöglichten es Lebewesen erstmals, aus Sonnenlicht Energie zu gewinnen. Viele Bakterien und einzellige Algen etwa besitzen lichtbetriebene Pumpen in ihrer Zellmembran. Dabei handelt es sich um Proteine, die ihre Form bei Lichteinfall so verändern, dass sie Ionen, also kleine geladene Teilchen, aus der Zelle befördern oder in sie



hinein. So können sich die Einzeller auf pH-Wert, Salzgehalt und andere Merkmale ihrer Umgebung einstellen.

Bacteriorhodopsin ist so eine lichtangetriebene Pumpe. Das Protein transportiert Protonen und kommt unter anderem bei Halobakterien vor, einer Gruppe einzelliger Mikroorganismen, die sich in extrem salzhaltigen Seen wohlfühlen. Auch wenn dieser Einzeller biologisch nicht nahe mit dem Menschen verwandt ist, so ist Bacteriorhodopsin dem menschlichen Rhodopsin doch gar nicht so unähnlich: Es bindet ebenfalls Retinal und ändert seine Form unter Lichteinwirkung. Allerdings bindet es nicht an G-Proteine und gehört – trotz des historisch bedingten gleichen Namens – zu einem anderen Typ von Protein, den mikrobiellen Opsinen.

2016 erstellte Jörg Standfuss erstmals einen Film von einem Pumpvorgang mit Bacteriorhodopsin. Im Jahr 2020 fing seine Gruppe dann den Pumpprozess einer weiteren lichtbetriebenen Pumpe in Aktion ein: der Natriumpumpe eines Meeresbakteriums.

«Das PSI ist dank des SwissFEL weltweit führend, was das Erforschen von Rhodopsinen und ihrer Struktur dynamiken angeht», sagt Przemyslaw Nogly, einst Postdoc bei Standfuss und jetzt Leiter einer eigenen Forschungsgruppe an der ETH Zürich. Nogly untersucht mit dem SwissFEL die Chloridpumpe Halorhodopsin, welche bei Halobakterien Chloridionen von aussen in die Zelle hineinbefördert. «Ganz besonders fasziniert uns dabei die Frage, wie die Energie des absorbierten Lichts dazu benutzt wird, um den Transport von Chlorid anzutreiben», erzählt Nogly. Auch zum Lüften dieses Rätsels hat der SwissFEL inzwischen beigetragen.

An und aus

Die natürlichen Lichtantennen zu verstehen, bringt nicht nur die Grundlagenforschung voran, sondern auch die sogenannte Optogenetik. Mit dieser Technik versuchen Forschende, lichtempfindliche Proteine als winzige Schalter in Tier- oder Menschenzellen einzubauen. Vorgänge in den Zielzellen liessen sich dann alleine über die Bestrahlung mit Licht ein- und ausschalten. Die Hoffnung: Das soll die Grundlage für ein breiteres Verständnis biologischer Prozesse in unserem Körper liefern und so den Weg zu neuen Therapien bahnen.

Anfang der 2000er-Jahre brachten Forschende in den USA und Europa erstmals gezielt einen Lichtrezeptor in Nervenzellen ein, um deren Aktivität zu kontrollieren (siehe Infografik Seite 16). Es handelte sich dabei um das Kanalprotein Channelrhodopsin aus einer Süswasseralge. Das Erbgut für diesen Kanal wurde in die Nervenzellen von Ratten eingebracht, sodass diese Zellen in der Laborschale den

«Wir arbeiten daran, optogenetische Proteine zu entwickeln, die quasi in jedem Organ einsetzbar sind.»

Valérie Panneels, Wissenschaftlerin im PSI-Labor für biomolekulare Forschung

Ionenkanal herstellten. Channelrhodopsin öffnete sich bei Bestrahlung mit blauem Licht und liess positiv geladene Ionen in die Zellen strömen, woraufhin die Zellen aktiviert wurden. Über solche neu eingebrachten Ionenkanäle lassen sich also Nervenzellen von aussen in Echtzeit mit Licht steuern.

Alle bisher entwickelten optogenetischen Werkzeuge haben aber einen grossen Nachteil, erklärt Valérie Panneels: Sie sind fast ausschliesslich in Nervenzellen einsetzbar. «Wir arbeiten nun daran, optogenetische Proteine zu entwickeln, die auch in anderen Zellen und für andere Funktionen einsetzbar sind – in jedem Organ quasi.» Das würde die Anwendungsmöglichkeiten der Technik drastisch vergrössern.

Ein ideales Ziel dafür ist die Familie der Rezeptoren, zu denen auch Rhodopsin gehört: sogenannte G-Protein-gekoppelte Rezeptoren, GPCR abgekürzt. Man findet sie in fast jeder Zelle unseres Körpers; sie vermitteln zahlreiche Funktionen, vom Geruchs- und Geschmackssinn über das Regeln der Herzfrequenz bis zum Einleiten einer Entzündungsreaktion. GPCRs sind daher auch äusserst wichtige Ziele für Wirkstoffe in der Medizin. Man schätzt, dass über ein Drittel aller derzeit zugelassenen Medikamente ihre Wirkung über diese Familie von Proteinen entfaltet.

Grosse Pläne

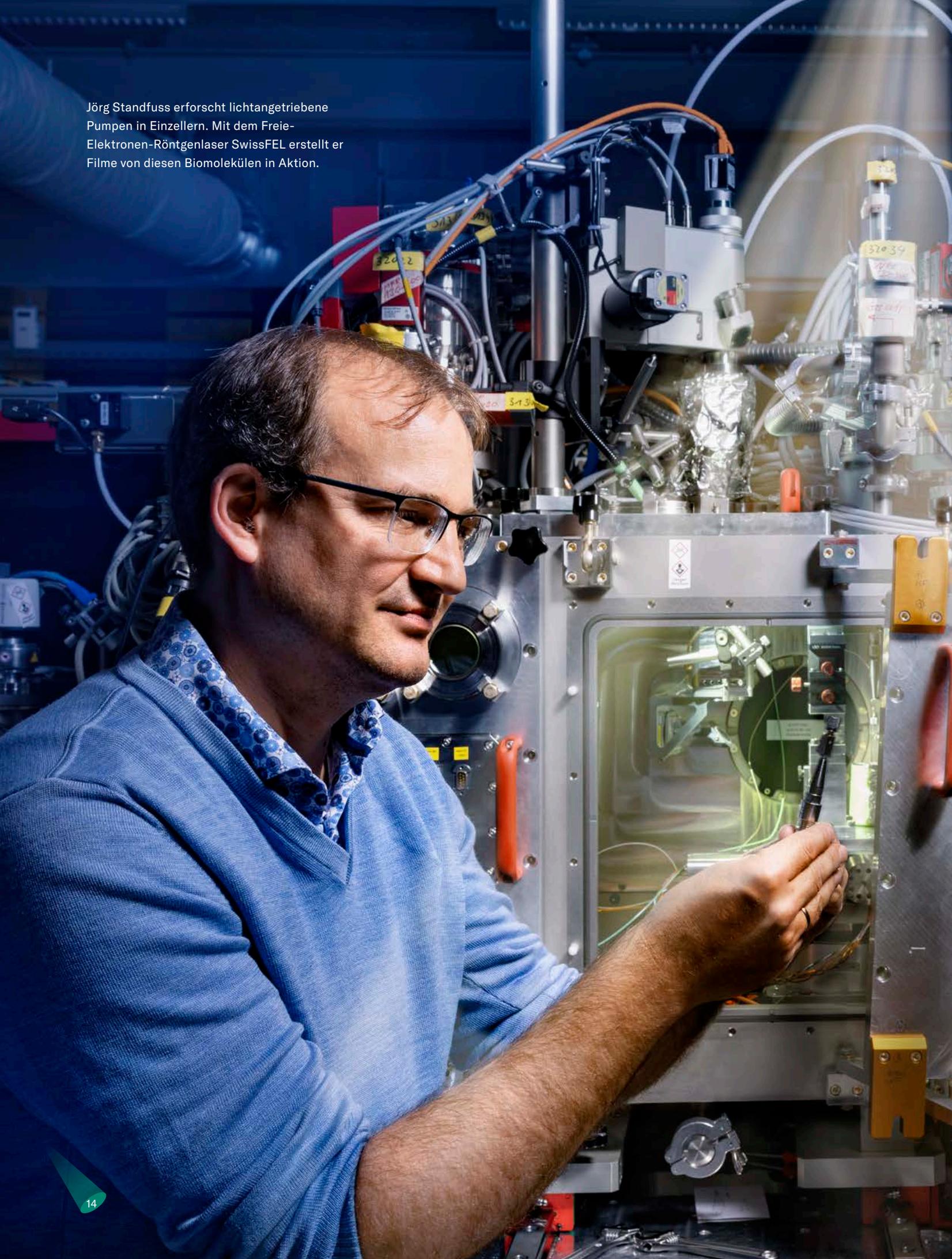
Gemeinsam mit einem schweizerisch-europäischen Forschungsteam will Gebhard Schertler in den kommenden Jahren die Grundlagen schaffen, um universell einsetzbare lichtsteuerbare Schalter zu entwickeln (siehe Infografik auf Seite 16). Zum Konsortium gehören Peter Hegemann von der Humboldt-Universität zu Berlin, Sonja Kleinlogel von der Universität Bern und Rob Lucas von der Universität Manchester in Grossbritannien.

Das Team will sogenannte chimäre Proteine erschaffen, die sich aus zwei Teilen zusammensetzen: einem lichtempfindlichen Kopf, der durch Licht ein- und ausschaltbar ist, und einem Körper, der einen ganz bestimmten Prozess in der Zelle einschaltet. Rhodopsin von Wirbeltieren eignet sich für solche kleinen Schalter allerdings nicht, erklärt Gebhard

Valérie Panneels reinigt das rote, lichtempfindliche Protein Rhodopsin, um es später am Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL zu untersuchen.



Jörg Standfuss erforscht lichtangetriebene Pumpen in Einzellern. Mit dem Freielektronen-Röntgenlaser SwissFEL erstellt er Filme von diesen Biomolekülen in Aktion.



Schertler. «Jedes Mal, wenn im menschlichen Auge ein Rhodopsin aktiviert wird, löst sich die Bindung zwischen Protein und Retinal. Um den Rezeptor wieder lichtempfindlich zu machen, muss er zunächst regeneriert werden.» Das geschieht in einer einlagigen Zellschicht in der Netzhaut. Dort wird das Protein mit einem Retinalmolekül wieder zu einem funktionsfähigen Lichtrezeptor vereint. «Unsere Lichtrezeptoren sind also immer nur einmal einsetzbar und müssen dann aufwendig regeneriert werden – ein recht kompliziertes System.»

In den Lichtrezeptoren von Tintenfischen, Insekten und vielen anderen Wirbellosen hingegen bleibt das Retinal ständig am Protein gebunden. Durch die Absorption eines zweiten Lichtstrahls wandelt sich der Rezeptor wieder in seinen Ursprungszustand zurück – und kann dann gleich den nächsten Lichtstrahl empfangen. Diese Art von Rhodopsinen – bistabil genannt – lässt sich immer wieder ein- und ausschalten. Kann man das Protein dann noch so verändern, dass es beispielsweise mit blauem Licht angeknipst, mit rotem ausgeknipst wird, hätte man den idealen Schalter.

Das Geheimnis der Springspinne

Bisher von der Wissenschaft recht wenig beachtet, stehen bistabile Lichtrezeptoren im Fokus des Forschungsprojekts. Als vielversprechender Kandidat hat sich das bistabile Rhodopsin aus der Springspinne *Hasarius adansonii* erwiesen, welches auf die Farbe Grün reagiert. Die nur sechs Millimeter kleine Spinne ist weltweit in Gewächshäusern verbreitet. Von ihren acht Augen sind zwei grosse direkt nach vorne gerichtet. Vier übereinander angeordnete Netzhautenebenen in den vorderen Augen erlauben es der Spinne, den Standort einer Beute bis auf wenige Millimeter genau anzupeilen und diese im Sprung zu fassen.

«Das Rhodopsin der Springspinne ist im Gegensatz zu vielen anderen Rhodopsinen stabil, leicht zu kristallisieren und zu handhaben», sagt Schertler. Die Forschenden hoffen, dass dieses Protein die Suche nach lichtgesteuerten molekularen Schaltern vorantreibt. Auf lange Sicht eignet sich besonders auch das Protein Melanopsin. Es reguliert in speziellen Nervenzellen des Auges unseren Tag-Nacht-Rhythmus und ist ebenfalls bistabil. Allerdings ist es bisher noch niemandem gelungen, die Struktur von Melanopsin zu entschlüsseln, da es in Laborgefässen zu instabil ist.

Licht in Sicht

Sonja Kleinlogel von der Universität Bern hat bereits ein chimäres bistabiles optogenetisches Protein

hergestellt: Es besteht als Kopf aus der Lichtantenne von Melanopsin und als Körper aus einem Rezeptor, den man in den Bipolarzellen des Auges findet. Er spielt eine wichtige Rolle dabei, das Signal aus der Netzhaut des Auges Richtung Gehirn weiterzuleiten. So schaffte es die Wissenschaftlerin mit einer optogenetikbasierten Gentherapie, erblindeten Mäusen einen grossen Teil ihres Sehvermögens zurückzugeben. Allerdings hat sie ihr optogenetisches Protein hauptsächlich über Versuch und Irrtum konstruiert. Ihre Methode lässt sich momentan nicht auf andere Rezeptoren übertragen.

«Wir müssen herausfinden, warum Sonja Kleinlogels Konstrukt funktioniert», sagt Gebhard Schertler. «Und wir müssen uns das Wissen aneignen, wie wir Proteine so verändern können, dass sie das tun, was wir wollen.» Mit der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS, dem SwissFEL und der Kryo-Elektronenmikroskopie (siehe Artikel «Cooler Newcomer» ab Seite 18) wollen die Forschenden bistabile Lichtrezeptoren und ihre Mechanismen in der Zelle erforschen und auf Basis dieser Erkenntnisse Prototypen für optogenetische Werkzeuge entwickeln.

Die Möglichkeiten sind enorm: Mit solchen lichtsteuerbaren Schaltern liessen sich beispielsweise höhere Gehirnfunktionen erforschen. «Die klassische Optogenetik verändert das Ionengleichgewicht in Nervenzellen – wir hingegen könnten Signalkaskaden im Gehirn aktivieren, das ist etwas völlig Neues», erklärt Schertler. Die Technik könnte eines Tages dabei helfen, psychische Störungen wie Depressionen und Schizophrenie besser zu verstehen und vielleicht sogar neue Medikamente dagegen zu entwickeln.

Gelingt es, G-Protein-gekoppelte Rezeptoren im Körper gezielt ein- und auszuschalten, würde das zudem zeigen, welche konkreten Funktionen ein Rezeptor hat. Bei der Entwicklung von Medikamenten liessen sich dadurch vor allem Nebenwirkungen minimieren.

Die Entwicklung von neuen lichtgesteuerten molekularen Schaltern ist dem Europäischen Forschungsrat (ERC) viel Geld wert: 2020 vergab er eine Fördersumme von 10 Millionen Euro an das europäische Verbundprojekt von Gebhard Schertler und seinem Team.

Sind die Grundlagen erst einmal gelegt, wird die Technik die Wissenschaftswelt erobern, glaubt Schertler fest. «Noch sind wir recht weit entfernt von einem Werkzeugkasten, wie es ihn bereits für die klassische Optogenetik gibt. Aber in einigen Jahren können wir viele Rätsel lösen – und ich denke, Hunderte von Laboren werden dann auch anfangen, solche universellen lichtempfindlichen GPCR-Schalter zu benutzen.» ♦

Zellen mit Licht steuern

Klassische Optogenetik

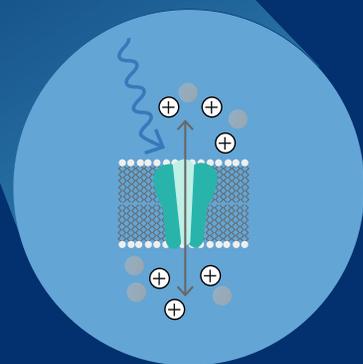
Nervenzellen werden so verändert, dass sie sich mit Licht aktivieren lassen.



Erbgut einbringen in Nervenzellen

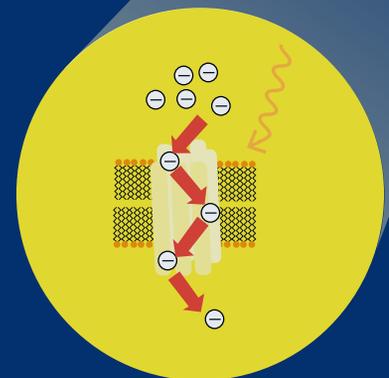
Nervenzellen produzieren dank eingebrachtem Erbgut Kanalrhodopsin oder Halorhodopsin.

Regulation der Zellen über Licht



Blaues Licht öffnet Kanalrhodopsine → positiv geladene Teilchen können in die Zelle einströmen.

Nervenzelle aktiviert = angeschaltet



Gelbes Licht regt die Halorhodopsine an. Sie pumpen negativ geladene Teilchen in die Nervenzelle.

Nervenzelle gehemmt = ausgeschaltet

Mit der Optogenetik lassen sich Zellen mit Licht an- oder abschalten. Klassischerweise sind das Nervenzellen im Gehirn. Neue Forschung mit PSI-Beteiligung will die Technik bei allen möglichen Körperzellen anwendbar machen.

Neuartige Optogenetik

Hierbei sollen Lichtrezeptoren mit Rezeptorproteinen kombiniert werden. Alle möglichen Körperzellen würden so steuerbar.

Lichtrezeptoren aus dem Auge der Springspinne

G-Protein-gekoppelte Rezeptoren aus Körperorganen wie Herz und Gehirn: Sie werden beispielsweise durch Hormone an- und ausgeschaltet.

«Chimärenprotein» besteht aus Lichtrezeptor und G-Protein-gekoppeltem Rezeptor.

Ein- und Ausschalten von Körperfunktionen über Licht: Ideal wäre es, wenn das Einschalten über eine andere Lichtfarbe möglich wäre als das Ausschalten.

Cooler Newcomer

Die Kryo-Elektronenmikroskopie ist eine noch vergleichsweise junge Methode, um die dreidimensionale Struktur von Biomolekülen aufzuklären. Mit ihrer Hilfe können Forschende schnell und hochpräzise so manches Rätsel rund um lichtempfindliche Proteine lösen.

Text: Brigitte Osterath

Wissenschaftlerin Emiliya Poghosyan ist Experte für Kryo-Elektronenmikroskopie am PSI. Hier schiebt sie gerade eine Probe – gekühlt mit flüssigem Stickstoff – in die mannshohe Apparatur.

Mit einer Pinzette und viel Fingerspitzengefühl greift die Biophysikerin Emiliya Poghosyan ein winziges Objekt und hält es ans Licht. Bei genauem Hinsehen entpuppt es sich als kreisrundes Gitter aus Kupfer, nur drei Millimeter im Durchmesser. Diese «Grids» genannten Objektträger sind essenzielle Hilfsmittel für alle Forschenden, die wie Poghosyan mit Elektronenmikroskopie ihre Wissenschaft betreiben. «Auf die kleinen Gitter tragen wir unsere Probe auf – allerdings darf die Proben-schicht am Ende maximal 100 Nanometer dünn sein», erklärt Poghosyan. Das ist zirka ein Fünfhundertstel der Dicke eines menschlichen Haars. Nur so ist es möglich, unter dem Mikroskop einzelne Moleküle wie Proteine zu erfassen und zu studieren.

«Es ist faszinierend, wie rasant sich die Elektronenmikroskopie in den letzten Jahren entwickelt hat», sagt Emiliya Poghosyan, Wissenschaftlerin im PSI-Labor für Biologie im Nanobereich und zuständig für die elektronenmikroskopischen Gerätschaften am PSI.

Im Grunde funktioniert ein Elektronenmikroskop wie ein gewöhnliches Lichtmikroskop; statt mit normalem Licht bestrahlt man die Untersuchungsobjekte aber im Vakuum mit Elektronen und erreicht so eine 2000-fach höhere Auflösung als mit dem besten Lichtmikroskop. Dementsprechend lassen sich viel kleinere Objekte untersuchen.

«Die Auflösung ist inzwischen so gut, dass wir mit der Methode die dreidimensionale Struktur von Proteinen und anderen Biomolekülen bestimmen können.» Möglich wurde das unter anderem durch eine neue Generation von Detektoren, die Elektronen direkt erfassen, sowie durch Auswertemethoden, welche die Aufnahmen von Millionen Molekülen in einer Probe miteinander abgleichen und quasi den Durchschnitt daraus bilden. So entstehen Bilder mit verbessertem Signal-Rausch-Verhältnis, aus denen anschliessend scharfe molekulare Strukturen ermittelt werden. So nahm vor weniger als zehn Jahren die sogenannte «Resolution Revolution» ihren Lauf.

Für biologische Proben brachte die Kryo-Elektronenmikroskopie den Durchbruch, erklärt die Wissenschaftlerin. Dabei werden die Proben vor der Messung schockgefroren. Die Kälte bewahrt die empfindlichen Proben vor Schäden, welche die schnellen Elektronen unweigerlich beim Aufprallen auf die Probe verursachen. «Im Vergleich zur Messung bei Raumtemperatur können wir ungefähr hundertmal so viele Elektronen auf die Probe schiessen, bevor sie zerstört wird», sagt Poghosyan. «Und jedes

Elektron mehr erhöht das Signal und die Menge an Informationen, die wir bei der Messung erhalten.»

Eiskristalle unerwünscht

Emiliya Poghosyan spannt die Pinzette mit dem Kupfergitter in ein längliches Gerät ein, den «Vitreobot». Über eine kreisrunde Öffnung an der Seite der Apparatur trägt sie einen winzigen Tropfen ihrer Probenlösung auf. Zwei Geräteteile, die aussehen wie Kopfhörer, schliessen sich danach um das Gitter. «Sie entfernen überschüssiges Wasser aus der Probe», erklärt Poghosyan.

Dann kommt der Temperaturschock: Die Pinzette taucht das beschichtete Gitter blitzschnell in ein Behältnis mit einer minus 196 Grad Celsius kalten Flüssigkeit. Es handelt sich dabei um Ethan, welches mit flüssigem Stickstoff gekühlt wird. Die Probe erstarrt im Bruchteil einer Sekunde. «Es ist wichtig, dass das besonders schnell passiert, denn ansonsten können sich Eiskristalle bilden, welche die Probe zerstören», erklärt die Wissenschaftlerin.

Elektronen können dicke Eiskristalle nicht durchdringen, weshalb solche Bereiche in der Aufnahme später schwarz erscheinen – dieser Teil des Bildes ist dann ruiniert. Kühlt man Wasser hingegen sehr schnell ab, erstarrt es, ohne zu kristallisieren. Es entsteht glasartiges Wasser, welches wie eine Flüssigkeit eine ungeordnete molekulare Struktur aufweist und von den Elektronenstrahlen durchdrungen wird.

Ziel ist es, dass die Probenmoleküle gleichmässig verteilt in den Löchern des Gitters vorliegen, umgeben von einer möglichst dünnen Schicht glasartigen Eises. Die Probenfilme dürfen dafür nicht dicker sein als die Biomoleküle selbst. «Das Vorbereiten der Probengitter ist eine Wissenschaft für sich», sagt die Biophysikerin. «Es gibt kein Allgemeinrezept. Man muss einfach immer neue Bedingungen probieren, bis man die idealen für ein bestimmtes Molekül gefunden hat.»

Die Entwickler der Kryo-Elektronenmikroskopie, der Schweizer Chemiker Jacques Dubochet sowie Joachim Frank und Richard Henderson, wurden 2017 für ihre Arbeit mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Dubochet war dabei derjenige, der den Trick mit dem kristallfreien Wasser entdeckte.

Aha-Effekt kommt später

Unter Stickstoffkühlung und entsprechend viel Dampf überträgt Emiliya Poghosyan ihr Grid in den gekühlten Halter des Elektronenmikroskops und schiebt ihn ins übermannshohe Gerät. Dann schüttet sie noch fleissig flüssigen Stickstoff nach. «Man braucht Geduld, wenn man mit Kryo-Elektronenmikroskopie arbeitet», sagt sie und lacht.

«Es ist faszinierend, wie rasant sich die Elektronenmikroskopie entwickelt hat.»

Emiliya Poghosyan, Biophysikerin im Labor für Biologie im Nanobereich am PSI

«Wartet man nicht, bis alle Apparaturen genügend abgekühlt sind, wird die Probe zerstört und alle Arbeit war umsonst.»

Schliesslich kann sie im Nebenraum ihre Probe auf dem Monitor betrachten und Aufnahmen machen. Ein einzelnes Bild beeindruckt dabei wenig: Im Grunde sieht man lediglich viele kleine gräuliche Flecken auf hellem Hintergrund. Diese Flecken sind die Proteinmoleküle.

Der Aha-Effekt kommt bei der nachträglichen Datenauswertung: Dabei wird über Millionen von Molekülen aus ein paar Tausend Aufnahmen gemittelt. So wird das Protein von allen Seiten erfasst, da in einer Probe idealerweise Millionen Moleküle in vielen verschiedenen Orientierungen vorliegen. Durch das Zusammenbauen all dieser Informationen entsteht ein dreidimensionales Modell des Proteins in bemerkenswerter Genauigkeit. «Es ist erstaunlich, wie aus diesen Aufnahmen so präzise 3-D-Modelle entstehen können», sagt Emiliya Poghosyan.

Auch ohne Kristall zum Erfolg

«Die Elektronenmikroskopie hat die Art, wie wir Strukturinformationen von Proteinen bekommen, revolutioniert», sagt Jacopo Marino, Biologe im PSI-Labor für biomolekulare Forschung. «Der ganze Vorgang geht inzwischen sehr schnell.»

Vor wenigen Jahren löste ein PSI-Team, an dem Jacopo Marino beteiligt war, die Struktur eines Komplexes, der aus dem Lichtrezeptor Rhodopsin und einem G-Protein besteht – Proteine in der Netzhaut, dank denen wir sehen können. Das Wissen darüber, wie der Rezeptor an das G-Protein andockt, gibt Hinweise darauf, wie die Signalweiterleitung in der Zelle funktioniert und wie sich dieser Prozess unter Umständen manipulieren liesse (siehe Infografik Seite 16). Mit der Kryo-Elektronenmikroskopie war die Struktur innert vier Monaten gelöst. Und selbst das ist noch vergleichbar lang. «Bei biochemisch gut handhabbaren Proteinen können wir die Struktur sogar innerhalb weniger Tage in der Hand halten.»

Da der Komplex aus mehreren Proteinen besteht, ist er sehr flexibel – das stand einer Röntgenkristallografie im Weg. Denn für diese hätte man

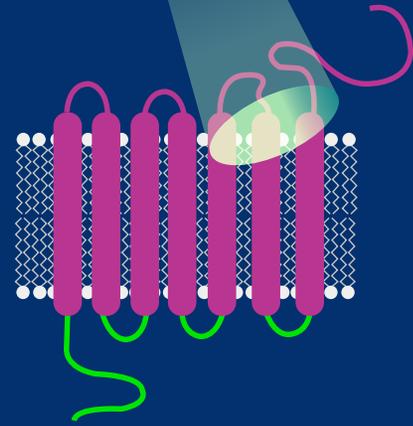
Kristalle des Komplexes gebraucht, und die waren auch mit jahrelanger Arbeit nicht zu bekommen. Allerdings ist es derzeit noch nicht möglich, sehr kleine Biomoleküle mit Kryo-Elektronenmikroskopie zu untersuchen, sagt Emiliya Poghosyan. Die Struktur des Proteins Rhodopsin alleine etwa ist damit nicht zu entschlüsseln. Darüber hinaus ist die Auflösung bei der Röntgenkristallografie noch immer geringfügig besser.

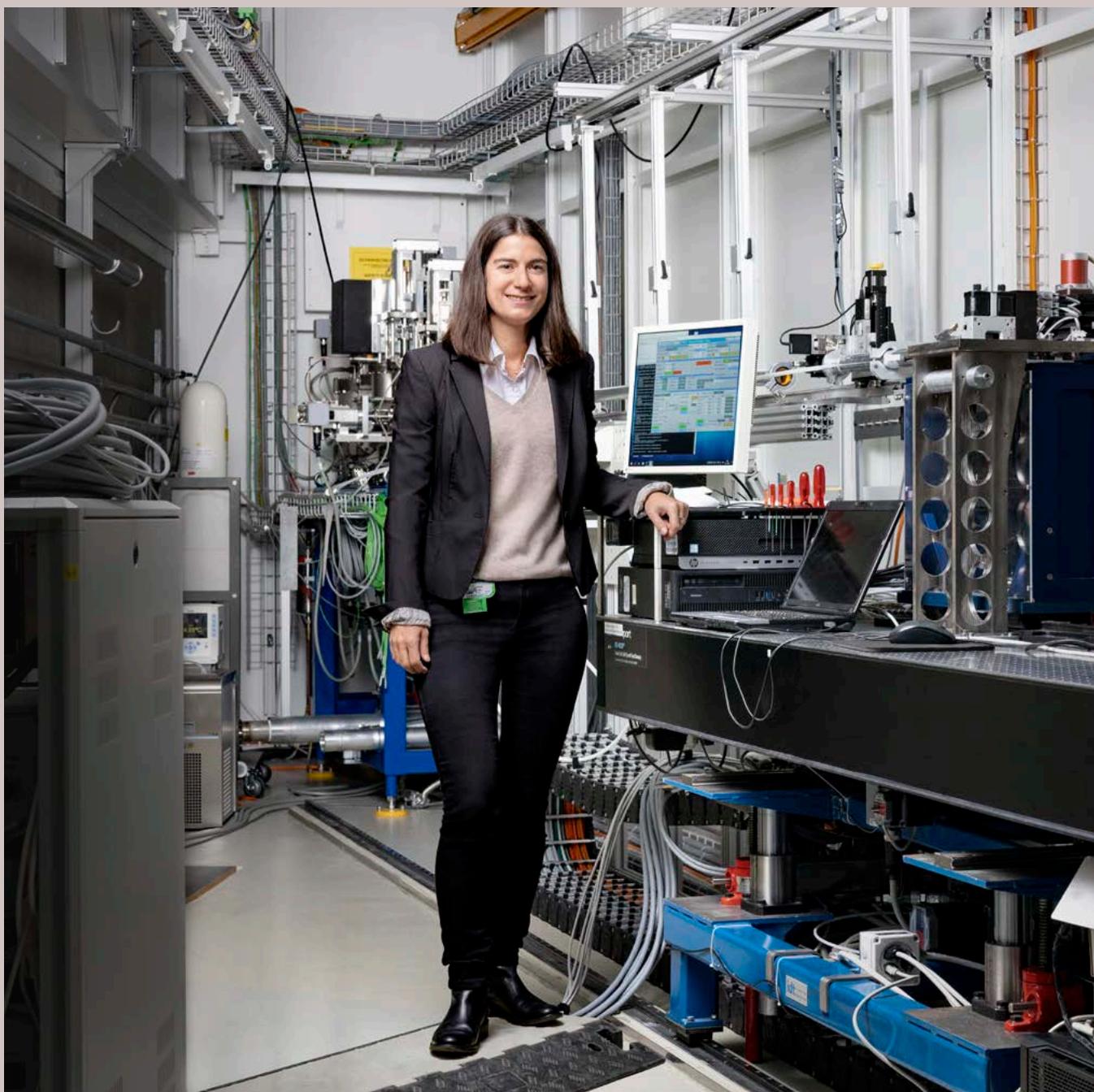
Ergänzung statt Ersatz

Einen gewaltigen Fortschritt brachte die Kryo-Elektronenmikroskopie bei der Untersuchung von Membranproteinen wie Rezeptoren, die natürlicherweise in eine Zellmembran eingebettet sind und sich nur schwer in reiner Form isolieren, geschweige denn herstellen oder kristallisieren lassen. Eines der ersten Proteine, mit denen Chemienobelpreisträger Richard Henderson arbeitete, war Bacteriorhodopsin, ein Membranprotein in der Zellwand von bestimmten Bakterien. Jacopo Marino nimmt mit der Methode momentan einen Ionenkanal unter die Lupe, der in der Signalweiterleitung beim Sehprozess eine grosse Rolle spielt.

Schon sehr geringe Mengen Protein reichen für eine Kryo-Elektronenmikroskopie aus. Das erleichtert und verkürzt die Arbeit gerade bei Molekülen, die mühsam aus Geweben und Zellen isoliert werden müssen. Auch müssen die Proben nicht pingelig sauber sein.

Verdrängen allerdings wird die Kryo-Elektronenmikroskopie die Röntgenkristallografie an der SLS und am SwissFEL nicht. «Die beiden stehen nicht in Konkurrenz zueinander», betont Marino. «Sie ergänzen sich. Beide haben ihre Stärken und Grenzen.» ♦





Im Inneren des Herzens

Anne Bonnin ist Physikerin an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Mit Synchrotron-Licht kann sie die innere Struktur von Objekten in extremer Auflösung bis auf wenige Mikrometer zerstörungsfrei sichtbar machen. Die Interaktion zwischen Synchrotron-Licht und dem sich im Strahl drehenden Objekt ermöglicht es, ein digitales 3-D-Bild oder Schnittbilder zu erstellen. Mit diesem Verfahren, der sogenannten Mikrotomografie, analysiert sie unter anderem Gewebeproben des Herzens. Sie geht dabei Ursachen für Herzversagen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen nach, eine Voraussetzung für bessere und auch personalisierte Therapien.

Rettung für das eisige Gedächtnis der Erde

Gletschereis birgt wertvolle Informationen über die Vergangenheit unseres Planeten. Aber wenn die Gletscher im Zuge des Klimawandels schmelzen, geht dieses Archiv verloren. Ein internationales Forschungsteam mit PSI-Beteiligung beeilt sich, den wissenschaftlichen Schatz für die Nachwelt zu bewahren.

Text: Brigitte Osterath



Mit diesem Eisbohrkern hält PSI-Forscherin Margit Schwikowski auch ein Stück Wissen über die Vergangenheit unseres Planeten in den Händen.



Ein Wettlauf mit der Zeit – diese Redewendung beschreibt die Anstrengungen von Margit Schwikowski und ihrem Team sehr genau. Denn je unaufhaltbarer der Klimawandel voranschreitet, desto schneller schwinden die Gletscher. Und mit ihnen das Archiv, das sich in ihrem Inneren seit vielen Tausend Jahren angesammelt hat: Gase und Partikel, eingeschlossen in den Tiefen der Eisschichten. Sie verraten, wie sich die Atmosphäre damals zusammensetzte und ermöglichen Rückschlüsse auf vergangene Ereignisse. Wie warm war es in einer bestimmten Zeitperiode? Wann gab es Waldbrände? Welche Pflanzen haben die Menschen damals angebaut?

«Wir können 10 000 Jahre oder manchmal sogar länger zurückschauen», erklärt Schwikowski, Leiterin des Labors für Umweltchemie am PSI. Sie ist Vorstandsmitglied der internationalen Stiftung Ice Memory. Diese möchte ausgewählten Gletschern weltweit Eisbohrkerne entnehmen und sicher in der Antarktis einlagern. Und zwar möglichst bald: «Wir verspüren einen gewissen Druck, denn uns allen ist klar, was mit diesen Gletschern passiert», sagt die Chemikerin. «Wir müssen dringend verhindern, dass die wertvollen Informationen, die sie enthalten, für immer verloren gehen.»

Analysen von Gletschereis liefern bereits heute einmalige Erkenntnisse über vergangene Umweltbedingungen. Aber analytische Methoden entwickeln sich stetig weiter. In Zukunft werden Forschende dem Eis sicher noch viel mehr Geheimnisse entlocken können – wenn es ihnen dann noch zur Verfügung steht. Ice Memory will das sicherstellen.

Neben dem PSI sind an der internationalen Stiftung als Gründungsmitglieder beteiligt die Universität Grenoble Alpes, die Universität Ca' Foscari in Venedig, das französische Nationale Forschungsinstitut für nachhaltige Entwicklung (IRD), das französische Nationale Zentrum für wissenschaftliche Forschung (CNRS), der italienische Nationale Forschungsrat (CNR) und das französische Polarinstitut Paul-Émile-Victor (IPEV). Ice Memory wird von der Unesco unterstützt, der Organisation der Vereinten Nationen für Bildung, Wissenschaft und Kultur.

Zwischen Höhenkrankheit und Gletscherspalten

Ins Leben gerufen wurde die Initiative im Jahr 2015. Logisch, dass Margit Schwikowski angefragt wurde, das Eisbohrkernarchiv mitaufzubauen: Die Forschung an Hochgebirgsgletschern ist seit 1992 ihr Spezialgebiet. «Wir sind einige der wenigen Forschungsgruppen der Welt, die überhaupt Gletscherbohrungen machen», erzählt sie. Das ist nicht trivial und braucht viel Erfahrung. «Jeder Gletscher und damit auch jede Bohrung ist anders.»

«Uns allen ist klar, was mit diesen Gletschern passiert.»

Margit Schwikowski, Leiterin des Labors für Umweltchemie am PSI

Die gut eine Woche dauernden Expeditionen zu den mehrere Tausend Meter hoch gelegenen Gletschern sind zudem nicht ungefährlich, ergänzt Theo Jenk, Forscher am PSI-Labor für Umweltchemie und Leiter der letzten Expedition von Ice Memory. «Die Luft ist dünn, und es besteht immer die Gefahr, Höhenkrankheit zu erleiden. Wir müssen sicherstellen, erkrankte Teammitglieder notfalls schnell wieder nach unten bringen zu können.»

Höhenkrankheit kann bereits ab 2500 Meter Höhe auftreten und äussert sich in Kopfschmerzen, Verwirrung und Sinnestäuschungen; sie kann auch zu lebensgefährlichen Lungen- oder Hirnödemen führen.

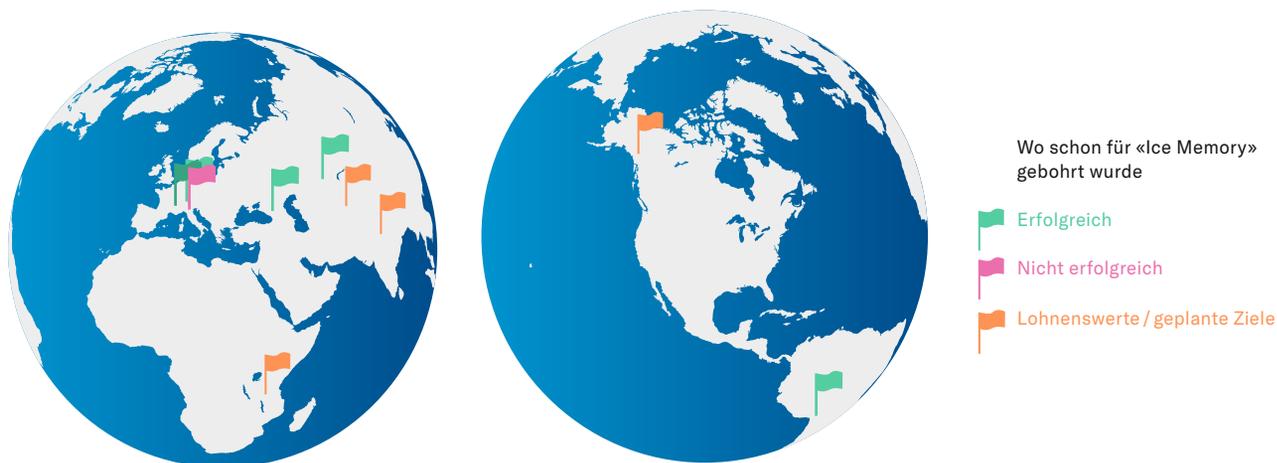
Eine weitere Gefahr bei der Arbeit am Berg sind versteckte Gletscherspalten. An vielen Stellen ist das Team daher nur gesichert, mit Seil und Klettergurt, unterwegs.

Der zweieinhalb Meter lange modulare Eiskernbohrer, mit dem das Team sich nach und nach oft mehr als hundert Meter tief bis auf das Felsbett des Gletschers vorarbeitet, ist eine Spezialanfertigung, entwickelt und gebaut von der Firma icedrill.ch in Biel. Mit der Hilfe einer Winde, an deren Kabel der Bohrer hängt und so gesteuert und mit Strom versorgt wird, holen die Forschenden Stück für Stück, 70 Zentimeter lange Bohrkerne aus der Tiefe hervor.

«Die Arbeitstage da oben sind lang», erzählt Theo Jenk. «Wir arbeiten auch mal in der Nacht, wenn es tagsüber zu warm ist.» Bei zu viel Sonneneinstrahlung könnten die empfindlichen Eisbohrkerne durch Anschmelzen Schaden nehmen. Auch besteht die Gefahr, dass sich am Bohrer Schmelzwasser bildet und dieser dann im Bohrloch festfriert und stecken bleibt. Um die mühsam entnommenen Kerne stets kalt genug zu halten, nehmen die Forschenden Isolationskisten mit auf den Berg und vergraben diese im Schnee. Die Kühlkette muss – notfalls mit Trockeneis oder Kühltransporter – aufrechterhalten werden, bis die Bohrkerne in einem Kühllager gesichert werden können.

Erfolg am Colle Gnifetti

Im letzten Jahr gelang es den Forschenden, zwei über 80 Meter lange Eisbohrkerne von einem Gletscher in den Walliser Alpen zu nehmen, und zwar vom Gletschersattel des Colle Gnifetti im Monte-Rosa-Massiv auf 4500 Meter Höhe. Ein solcher



Bohrkern stand ganz oben auf der Liste von Ice Memory. «Wir haben hier die höchstgelegenen Gletscher Europas und diese enthalten viele wertvolle Informationen», sagt Theo Jenk.

Viele Frischwasserquellen speisen sich aus den Alpengletschern, daher heisst die Schweiz auch «Wasserschloss Europas». Umso wichtiger ist es zu wissen, wie sich die Gletscher in Zukunft entwickeln werden – und Vergleichsmöglichkeiten mit der Vergangenheit zur Hand zu haben.

Ausser vom Colle Gnifetti hütet das Team von Ice Memory auch bereits Bohrkerne vom Illimani-Gletscher in den bolivischen Anden, vom Belucha in Sibirien, vom Elbrus im Kaukasus und vom Col du Dôme am Mont Blanc in Frankreich (siehe Karte).

Ein besonders lohnenswertes nächstes Ziel wäre der Kilimandscharo in Tansania, Standort des einzigen in Afrika übrig gebliebenen Gletscherarchivs. Aber laut Schwikowski benötigt die Bewilligung durch die tansanische Regierung ausgiebig Zeit. Ebenfalls auf der Wunschliste stehen der Mount Logan in Kanada, verschiedene Gletscher auf dem tibetischen Hochplateau und der Fedtschenko-Gletscher in Zentralasien.

Zwei Jahre zu spät

Im Jahr 2020 war ein Team von Ice Memory schon einmal auf grosser Expedition in den Walliser Alpen unterwegs – damals am Grand Combin auf 4100 Meter Höhe. Probebohrungen im Jahr 2018 hatten das Gebiet als geeigneten Standort ausgewiesen.

Als die Forschenden zwei Jahre später jedoch mit voller Bohrmontur zurückkehrten, gab es Schwierigkeiten: Sie stiessen schon nach einem halben Meter auf eine harte Eisschicht, und bei 25 Meter blieb der Bohrer endgültig stecken. Der Grund: Frost-Tau-Zyklen hatten sogar im Nährgebiet des Gletschers Schmelzwasser entstehen lassen. Offensichtlich war es zwischen 2018 und 2020 so warm gewesen, dass viel Schmelzwasser weit in

die Tiefe vordringen konnte. Selbst wenn man einen Bohrkern hätte entnehmen können – für die Klimawissenschaft wäre er nutzlos gewesen. «Wir waren total schockiert», erzählt Schwikowski. «Denn damit war klar: Für diesen Gletscher waren wir schon zu spät dran.»

Nach Angaben der Vereinten Nationen sind fast alle Gletscher dieser Erde im Schrumpfen begriffen – und das mit steigender Geschwindigkeit. Ein internationales Forschungsteam mit Beteiligung der ETH Zürich und der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL fand vor Kurzem, dass die Gletscher weltweit in den Jahren 2000 bis 2004 jährlich 227 Milliarden Tonnen Eis verloren hatten – zwischen 2015 und 2019 waren es im Durchschnitt bereits 298 Milliarden Tonnen pro Jahr. Zu den am schnellsten schmelzenden Gletschern gehören der Studie nach jene in Alaska, in Island und in den Alpen.

Sicher am Südpol

Die Forschenden nehmen an jedem Standort mindestens zwei Bohrkerne. Der eine davon dient als Referenz und wird unter anderem am PSI analysiert; die Daten werden öffentlich zugänglich gemacht.

Der jeweils zweite Bohrkern soll in einer Eisgrotte in der Antarktis eingelagert werden, denn Kühlung benötigt hier keinen Strom. Ein weiterer Vorteil, der den weiten Transport zum Südpol rechtfertigt: Dieser Teil der Erde ist politisch neutraler Boden und laut Antarktisvertrag ausschliesslich der friedlichen Nutzung, besonders der wissenschaftlichen Forschung, vorbehalten.

Derzeit laufen Experimente dazu, wie genau man das Lager am besten errichten kann. Geplant ist eine Art Eishöhle, die den Eisbohrkernen ein sicheres Zuhause bieten soll. Damit sie nicht das gleiche Schicksal ereilt wie die Gletscher, aus denen sie stammen. Denn zumindest für die Antarktis ist nicht mit einem Abschmelzen in den nächsten hundert Jahren zu rechnen. ♦

Aktuelles aus der PSI-Forschung

1 Protonen gegen Lungenkrebs

Im November 2021 wurde am Zentrum für Protonentherapie in der Schweiz eine 60-jährige Patientin mit einem Lungentumor mit Protonen bestrahlt. Es ist das erste Mal in der Schweiz, dass diese Art der Bestrahlung zur Krebsbehandlung an der Lunge eingesetzt wird. Die siebenwöchige Therapie erfolgt im Rahmen einer internationalen Studie. Das PSI nimmt gemeinsam mit dem Radio-Onkologie-Zentrum der Kantonsspitäler Aarau und Baden an der Studie teil – als einzige Einrichtungen ausserhalb der USA. Die Studie vergleicht den Behandlungserfolg von herkömmlicher Strahlentherapie mit der von Protonentherapie beim nicht-kleinzelligen Bronchialkarzinom – der häufigsten Form von Lungenkrebs – im fortgeschrittenen, inoperablen Stadium. Mit der Protonenbestrahlung einer Patientin mit Lungenkrebs wird am PSI das nächste Kapitel der Protonentherapie aufgeschlagen.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/48039>

Vor **25** Jahren wurde die Spot-Scanning-Technik in der Protonentherapie am PSI erstmals eingesetzt.

62 Jahre alt war der weltweit erste Patient, der damals am PSI damit behandelt wurde.

Etwa **2000** Patientinnen und Patienten erhielten diese Therapie bislang am PSI.



2 Neuer Wirkstoff gegen Parasiten

Forschende am PSI haben eine chemische Verbindung identifiziert, die sich vermutlich als Medikament gegen gleich mehrere einzellige Parasiten eignet. Dazu gehören die Erreger der Malaria sowie der Toxoplasmose – Infektionskrankheiten, an denen jedes Jahr viele Millionen Menschen erkranken. Angriffspunkt der vielversprechenden Substanz ist das Protein Tubulin: Es hilft Zellen dabei, sich zu teilen, und ist damit auch für die Vermehrung der Parasiten unentbehrlich. «Wenn dieses Protein nicht mehr so arbeitet, wie es soll, trifft das den Parasiten hart», sagt PSI-Forscher Ashwani Sharma. Die Kooperationspartner des PSI von der University of California in Irvine testeten die neue Verbindung – Parabulin genannt – an dem Erreger der Toxoplasmose in menschlichen Zellen. Tatsächlich konnte sich der Parasit so gut wie nicht mehr vermehren. Auf die menschlichen Zellen hingegen hatte Parabulin quasi keine Wirkung – beste Voraussetzung für die Entwicklung eines Medikaments.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/45951>

3 1000 Tomogramme pro Sekunde

Die Computertomografie ist aus der Medizin bekannt. Doch ganz allgemein ist diese 3-D-Bildgebung für die zerstörungsfreie Analyse von Materialien nützlich. Wird dabei eine mikroskopische Auflösung erreicht, spricht man von Tomoskopie. Mit dem intensiven Röntgenlicht einer Synchrotronquelle lassen sich sogar viele Tomoskopie-Bilder pro Sekunde erhalten.

Ein Team vom Helmholtz-Zentrum Berlin hat gemeinsam mit Forschenden an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS am PSI einen neuen Weltrekord erreicht: 1000 tomoskopische Bilder pro Sekunde sind nun möglich. Diese Bilder haben eine räumliche Auflösung von einigen Mikrometern, das Sichtfeld beträgt mehrere Quadratmillimeter und eine kontinuierliche Aufnahmezeit von einigen Minuten ist machbar.

Die Technik ist interessant für die Materialanalyse, die Qualitätsprüfung oder die Entwicklung von neuen funktionalen Materialien.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/47742>

4 CO₂ als wertvolle Ressource

In einer neuen Studie zeigen Forschende des PSI, dass die sogenannte Kohlendioxid-Elektrolyse profitabel sein und einen Beitrag zum Klimaschutz leisten kann. Bei diesem Verfahren wird Kohlendioxid (CO₂) aus der Atmosphäre oder am Ort seiner Entstehung, beispielsweise in der industriellen Produktion, aufzufangen. Die anschliessende Umwandlung per Elektrolysezelle macht dieses dann für die chemische Industrie nutzbar. Dabei wird aus CO₂ entweder Kohlenmonoxid oder Ameisensäure. Vor allem die Produktion von Kohlenmonoxid ist laut Studienergebnis sehr vielversprechend. Wenn die Technik sich noch weiterentwickelt und die Preise sich erwartungsgemäss vergünstigen, hat Kohlenmonoxid unterm Strich das grösste Potenzial für eine ökonomische und ökologische Verwendung von CO₂.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/48403>

Geräusche der Forschung

Kann man Geräusche sehen? Selbstverständlich nicht. Dennoch versucht diese Galerie das scheinbar Unmögliche und baut eine optische Brücke zur Klangkulisse, die das Ohr überall am PSI wahrnimmt. Eine verwischte Bewegung deutet die Akustik einer der ungewöhnlichsten Forschungsstätten der Welt an. Wenn Sie dem Link beim Schwingungsprofil folgen, können Sie sich direkt anhören, was Sie sehen.

Text: Christian Heid

Tak-tak-tak-tak-tak...

Woran nur erinnert dieses Geräusch? An eine Nähmaschine? An einen Zug, der durch einen Bahnhof fährt? Der Orbital-Schüttler steht in einem Biologielabor und dient dazu, eukaryotische Zellen zu züchten, zum Beispiel menschliche Zellen. Mit seinen bis zu zweihundert Umdrehungen pro Minute durchmischt er in gleichmässigen Kreisbewegungen Zellen und rötliche Nährstoffflüssigkeit. Die Zellen schweben geradezu in der Lösung und werden so optimal mit Nährstoffen und Sauerstoff versorgt. Aus den Zellkulturen werden gezielt Proteine gewonnen, über die man mehr wissen möchte. Darunter auch: das Spike-Protein von Sars-CoV2.

<http://psi.ch/de/node/49387#tak>







Iiiiiihhhhhhhhhhh...

Das bekommt man in der Lüftungszentrale des SwissFEL, des Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlasers, zu hören. Es ist der Ventilator, der da so aufbraust, um das 740 Meter lange Gebäude, das unweit vom PSI-Gelände im Würenlinger Wald liegt, mit Frischluft zu versorgen. Unter Volllast schaufelt er bis zu 16 000 Kubikmeter Luft pro Stunde in das Gebäude hinein. Die Luft wird auf dem Weg ins Innere auf 20 Grad Celsius temperiert und in den verschiedenen Räumen mittels Dutzenden von Klimaanlage präzise auf 24 Grad Celsius reguliert, weil Temperaturschwankungen die Forschungsergebnisse verfälschen würden. So trägt auch diese wohltemperierte Frischluft dazu bei, dass die Röntgenstrahlen in dieser Grossforschungsanlage extrem schnelle Vorgänge wie das Entstehen von Molekülen nachvollziehbar machen können.

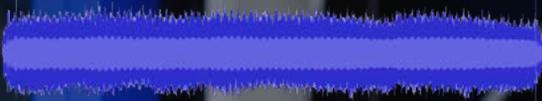
<http://psi.ch/de/node/49387#iih>



Whiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiiii...

Oje! Das klingt wie beim Zahnarzt, der Bohrer... Tatsächlich handelt es sich aber um ein Teleskop-Rohr, das zu einem Kryostat, einem Kühlgerät, gehört. Das Rohr wird ausgefahren, nähert sich der Probe aus Proteinkristallen und verdampft flüssigen Stickstoff, der die Kristalle bei deren Wohlfühltemperatur von minus 173,15 Grad Celsius kalt hält. An dieser Strahllinie wird die Struktur von Proteinen ermittelt, um generell biologische Prozesse besser zu verstehen und insbesondere um neue Medikamente entwickeln zu können. Es ist eine von rund zwanzig Strahllinien, die zur Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS gehören, die bis 2026 ein Upgrade erfahren wird, um noch leistungsfähiger zu werden.

<http://psi.ch/de/node/49387#whi>





PAUL SCHERRER INSTITUT
PSI

Mmmwwwwhoooooooooooo wwwmm...

Kein Zweifel! Das ist eine U-Bahn, die langsam anfährt und wenig später wieder zum Stehen kommt. Könnte man denken ... Das teilen uns zumindest auch Patientinnen und Patienten mit Krebserkrankung mit, die im Zentrum für Protonentherapie (ZPT) am PSI behandelt wurden. Das Geräusch entsteht, wenn die 180 Tonnen schwere Gantry 2 in Bewegung versetzt wird und ein dünner Protonenstrahl Geschwülste im Körperinneren präzise abrasiert und somit vernichtet. Der Strahl wirkt nur dort, wo er wirken soll, sodass davor- und dahinterliegendes gesundes Gewebe geschont wird. Seit über 25 Jahren behandelt das ZPT erfolgreich Krebspatientinnen und -patienten.

<http://psi.ch/de/node/49387#mwh>

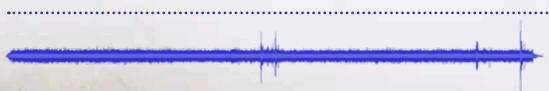




Vvvvschschschs schschs...

Hm!? Vielleicht ein Teekessel... oder ein Fahrradreifen, der Luft verliert... Dieses Zischen gehört zu einer Anlage, an der aus einem Tank flüssiger Stickstoff (LN₂) in kleinere, rollbare Behälter gefüllt wird. An dieser Tankstelle hat der Stickstoff etwas weniger als minus 196 Grad Celsius und ist damit nahe an seinem Siedepunkt. Auch wenn die umfängliche Bedienungsanleitung, die auf dem Schild neben der Anlage verzeichnet ist, exakt beachtet wird, entweichen ungefährliche Mengen an Stickstoff, vermischen sich mit Umgebungsluft und bilden eine Art Bodennebel. Der Stickstoff wird häufig dort eingesetzt, wo tiefste Temperaturen gefragt sind, zum Beispiel um bestimmte Experimente durchzuführen oder Magnete und Stromleitungen zu kühlen.

<http://psi.ch/de/node/49387#vsch>





Tüfteln und optimieren

Vor fünfzehn Jahren baute sie die PSI-Strahllinie NanoXAS an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS auf. Heute ist Iris Schmid Leiterin des Produktmanagements bei der Selectron Systems AG, einem Hersteller von Zugsteuerungssystemen. Was sie dorthin mitgebracht hat: ihr Faible für Optimierung.

Text: Christina Bonanati

Iris Schmid sitzt in einem pandemiebedingt leeren Grossraumbüro der Selectron Systems AG in Lyss, einem führenden Hersteller für Zugsteuerungssysteme. Unter ihrer Jeans ragen bunt gemusterte Socken hervor. Der Blick aus den grossen Fenstern verliert sich im Nebel. Nach einem Jahr hat sich die 46-Jährige schon daran gewöhnt: «An meinem Wohnort bei Bern scheint oft die Sonne, wenn hier die Suppe hängt», sagt die zierliche Sportlerin. Früher lief sie auch schon mal einen Marathon, heute tritt sie etwas kürzer und nimmt noch jährlich beim Grand Prix von Bern teil, einem Lauf über gut sechzehn Kilometer. Bei Wanderungen, Klettertouren oder Skilanglauf powert sie sich gern in den Bergen aus.

Iris Schmid wuchs im Berner Oberland auf. Durch die Familie, die eine Autogarage betrieb, und ihre drei Brüder wurde schon früh ihr Interesse an Technik und Naturwissenschaften geweckt. Als Schülerin jobbte sie in der chemischen Industrie bei F. Hoffmann-La Roche. In der Handelsmittelschule im frankofonen La Neuville wurde es für sie klar: «Physik, das haben alle gehasst – ausser mir.» Nach Abschluss der Matura in Neuchâtel studierte sie deshalb Experimentalphysik an der Universität Basel und ging im Nebenfach ihrer Leidenschaft für Astronomie nach. Nach dem Diplom 2001 reiste sie für ein Jahr durch Südamerika, lernte Spanisch und Portugiesisch und von Einheimischen die Kunst des Schmuckmachens. Besonders wohl fühlte sie sich in den peruanischen und bolivianischen Anden.

Nach ihrer Rückkehr gab es aufgrund einer Wirtschaftskrise nur wenige offene Stellen in der Schweizer Industrie. Sie trat eine Promotionsstelle in Basel an. Mit Hans Joseph Hug, der bereits ihre

Diplomarbeit betreut hatte und in der Zwischenzeit für eine Professur an die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) berufen wurde, erforschte sie die Wechselwirkungen in Festplatten: Zwischen Schichten, die Dateninformationen in Form von magnetischer Polung der Bits in sich tragen und den antimagnetischen Schichten für deren Fixierung. Ziel war es, die Grösse der Bits zu verkleinern, ohne dass sie dadurch thermisch instabil werden, und somit die Speicherkapazität der Festplatten zu erhöhen – interessant für Computerhersteller und motivierend für Schmid. Wie sie es schaffte, 2006, ein Jahr nach der Geburt ihres Sohnes, ihre Doktorarbeit erfolgreich abzuschliessen, kann sich Schmid heute nicht erklären: «Irgendwie hat es funktioniert.»

Kein normaler «Mess-Postdoc»

Mit frischem Dokortitel übernahm Schmid die wissenschaftliche Leitung für das Projekt NanoXAS: Der experimentelle Aufbau einer neuen Strahllinie und Endstation an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI sollte die Rasterkraftmikroskopie mit der Röntgenabsorptionsanalyse kombinieren. Das ermöglicht, die Oberflächenstruktur von Materialien abzubilden und sie gleichzeitig chemisch zu bestimmen.

Nach zehn Jahren in Basel zog Schmid mit ihrer Familie in den Aargau. In der ersten Projektphase wurden an der EMPA das mechanische Design und die Konstruktion des neuen Mikroskops ausgearbeitet, während an der SLS die Strahllinie aufgebaut wurde.

Mit diesem Erfolgsprojekt bewies die Physikerin schon früh ihre Führungskompetenzen. Auch wenn sie feststellt: «Ich war umgeben von erfahrenen Technikern, Konstrukteuren und Forscherinnen.» Insbesondere Professor Hug als Tüftler par excellence und der ebenfalls technikaffine Jörg Raabe, heute noch NanoXAS-Leiter, haben sie mit ihrem umfangreichen Wissen sehr geprägt. Geholfen habe ihr auch, besonders nach der Geburt ihres zweiten Sohnes 2008, die am PSI integrierte Kindertagesstätte Kiwi: «Morgens habe ich die Jungs am Waldrand bei der Kiwi eingeladen, bevor ich auf die andere Seite der Aare zur SLS fuhr», erinnert sie sich. In der riesigen Halle habe man zwar kein Tageslicht, aber zwischen der ganzen Technik habe sie sich wohlgefühlt.

An die feierliche Eröffnung der Anlage 2010 mit Farbspektakel, Nebel und Feuerwerk erinnert sich Schmid mit Stolz: «Viele wichtige Leute waren da und ein rotes Band wurde durchgeschnitten.»

Neues wagen

Doch dann zog es sie in die Industrie, wo ihr Expertenwissen auch dringend gebraucht wurde. So bei der COMET Group, die in Flamatt im Kanton Fribourg spezifische Röntgenröhren konzipiert: Für die Qualitätskontrolle von sicherheitsrelevanten Teilen wie Flugzeugturbinen und Pneus, oder für die Inspektion von Ölpipelines in Sibirien bei minus 50 Grad Celsius. Als Leiterin der Entwicklungsabteilung bemerkte Schmid: «Die Entwicklung neuer Röntgenquellen war schlecht planbar, weil sehr *experimentell* entwickelt wurde, und dauerte bis zu zwei Jahre.» Vom PSI kannte sie es so, dass alle neu zu bauenden Anlagen vorher simuliert und modelliert wurden. Deshalb engagierte sie einen neuen Mitarbeiter und besorgte die passende Software. «In 90 Prozent der Fälle hat es dann gepasst und wir waren nach drei Monaten fertig», erzählt Schmid lachend.

Nach fünf Jahren wechselte sie dann in die Abteilung Plasma Control Technologies, wo sie als Leiterin für globales Projekt- und Prozessmanagement die Abläufe optimierte. Sie koordinierte zwischen Kollegen im Silicon Valley, Korea und China, rang mit verschiedenen Zeitzonen, Mentalitäten und Sprachen. Nach zehn Jahren bei Comet fand Schmid dann aber, dass es Zeit war: Sie suchte eine neue Herausforderung.

Die fand sie Ende 2020 bei Selectron in Lyss, dem Spezialisten für Zugautomation mit Kernkompetenzen in der Steuerungs-, Netzwerk- und Kommunikationstechnik. So finden sich in jedem modernen Zug zahlreiche Module, die der Überwachung

und Regelung dienen: von Bremssystemen über die Türöffnung bis hin zur Klimaanlage. Alles wird überwacht und automatisch gesteuert. «Nahe des Bremssystems mit Sensoren und Aktoren ist ein richtiger kleiner Rechner installiert», erläutert Schmid. «Die gelben Module mit sicherheitsrelevanten Funktionen werden gesondert zertifiziert und getestet. Die Software darf sich nie aufhängen, sonst könnte der Zug nicht mehr bremsen!»

Und wieder ist Schmid da, um Neues zu wagen. Als neue Leiterin des Produktmanagements evaluiert sie mit ihrem Team Ideen für neue Produkte, begleitet diese während der Entwicklung und verantwortet die Vorstellung und Einführung der neuen Produkte bei den Kunden. Auch hier ist Effizienz der Schlüssel, um die Produkte zum richtigen Zeitpunkt auf den Markt bringen zu können. «Ich finde es unschön, wenn etwas ineffizient läuft und Leute unnötig Zeit verlieren, weil sie die falschen Tools nutzen», so Schmid. «Ich versuche jeden Arbeitsschritt zu hinterfragen und zu optimieren.» Das scheint genau das zu sein, was sie richtig gut kann. Dabei hilft ihre vielfältige Erfahrung. Schmid betont: «Ich bin nie irgendwo Spezialistin geworden, sondern habe stets das Grosse und Ganze betrachtet.» Auch aus dem professionellen Arbeitsumfeld des PSI habe sie viel mitgenommen, woraus sie heute noch schöpfen kann. ♦





«Ich habe stets das Grosse
und Ganze betrachtet.»

Iris Schmid, Leiterin Produktmanagement,
Selectron Systems AG

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 2100 Beschäftigten mehr Mitarbeitende hat, als so manches Dorf in der Umgebung Einwohner.

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

Komplexe Grossforschungsanlagen

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

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

Um Messzeit für Experimente zu erhalten, müssen sich die Forschenden aus dem In- und Ausland jedoch beim PSI bewerben. Mit Experten aus aller Welt besetzte Auswahlkomitees bewerten diese Anträge auf ihre wissenschaftliche Qualität hin und empfehlen dem PSI, wer tatsächlich Messzeit bekommen soll. Denn obwohl es rund 40 Messplätze gibt, an denen gleichzeitig Experimente durchgeführt werden können, reicht die Zeit nie für alle eingegangenen Bewerbungen. Rund die Hälfte bis zwei Drittel der Anträge 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

5

schweizweit einzigartige
Grossforschungsanlagen

800

Fachartikel jährlich, die auf
Experimenten an den
Grossforschungsanlagen beruhen

5000

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

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

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

Drei eigene Schwerpunkte

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

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

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

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

und sichere Energieversorgung sowie für eine saubere Umwelt.

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

Die Köpfe hinter den Maschinen

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

IMPRESSUM

5232 – Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

Erscheint dreimal jährlich.
Ausgabe 1/2022 (Januar 2022)
ISSN 2504-2262

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

Redaktionsteam
Monika Blétry, Monika Gimmel,
Christian Heid, Dr. Laura Hennemann,
Sebastian Jutzi (Ltg.),
Dr. Brigitte Osterath,
Dr. Mirjam van Daalen

Design und Art Direction
Studio HübnerBraun

Fotos
Scanderbeg Sauer Photography,
ausser:
Seiten 34, 36/37: Ruben Wyttenbach;
Seite 38: Paul Scherrer Institut/
Markus Fischer;
Seite 41: Shutterstock.

Illustrationen und Grafiken
Studio HübnerBraun,
ausser:
Cover, Seiten 8/9: Adobe Stock;
Seiten 6/7: Daniela Leitner;
Seiten 10/11: Paul Scherrer Institut
(Protein);
Seiten 26/27: illuteam.

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

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

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





Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

Die weltweit gespeicherte Menge an Daten verdoppelt sich ungefähr alle zwei Jahre. Man spricht von der Datenexplosion. Dies betrifft auch die Natur- und Ingenieurwissenschaften. So ermöglichen Computer, die experimentelle Daten auslesen, speichern und archivieren, komplett neue wissenschaftliche Methoden. Computergestützte Simulationen und Modellierungen haben die Forschung revolutioniert. Zudem brauchen viele Experimente, gerade an den Grossforschungsanlagen des PSI, nun eine intelligente Datenreduktion und -kompression, denn Datenspeicherung ist ein relevanter Kostenfaktor. Daher ist es nicht verwunderlich, dass Forschende Computer nicht nur nutzen, sondern auch daran tüfteln, sie immer weiter zu verbessern. Eines der aktuellen Ziele, das auch am PSI verfolgt wird: ein experimenteller Quantencomputer, der für bestimmte Anwendungen die klassischen Rechner in den Schatten stellt.

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