

Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

03 / 2020

2020



SCHWERPUNKTTHEMA

TAUCHFAHRT IN DIE WELT DER MIKROBEN

SCHWERPUNKTTHEMA: TAUCHFAHRT IN DIE WELT DER MIKROBEN



HINTERGRUND

Winzlinge im Rampenlicht

Sie prägen die Erde und das Leben auf ihr wie niemand sonst: Mikroorganismen und Viren. Sie existieren seit Milliarden Jahren und bergen immer noch zahlreiche Geheimnisse. Die Anlagen des PSI helfen dabei, die Rätsel aus der Welt der Winzlinge zu lösen.

Seite 10

1

REPORTAGE

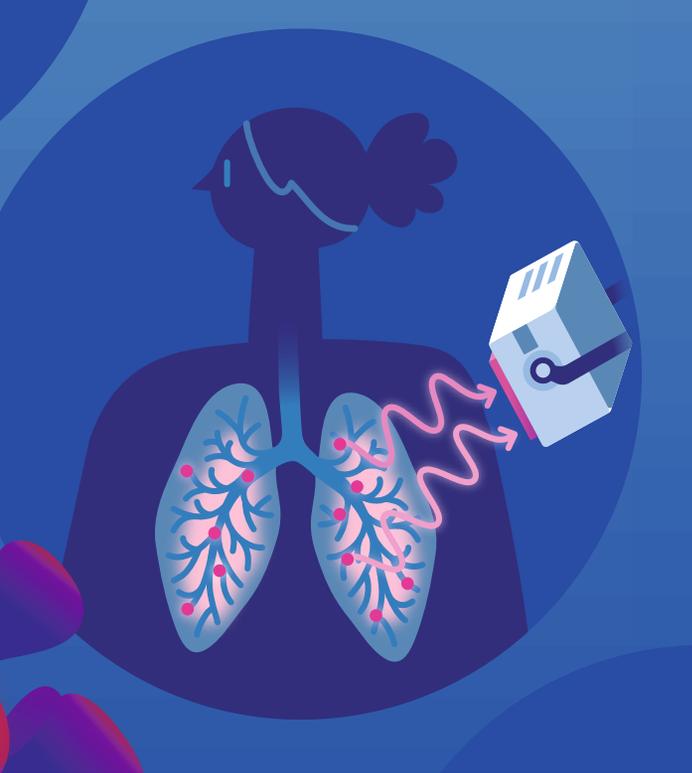
Abwarten und Kristalle züchten

Proteine gehören zu den wichtigsten Bausteinen des Lebens und sind deshalb auch essenziell für Mikroorganismen und Viren. Forschende am PSI haben sich darauf spezialisiert, diese Moleküle in mühevoller Arbeit zu kristallisieren, um ihre Struktur aufzuklären.

Seite 18

3





2

INFOGRAFIK

Forschung zu Covid-19 am PSI

Auch wenn das Virus, das die Welt aktuell in Atem hält, noch kein Jahr bekannt ist: PSI-Forschende beschäftigen sich auf vielfältige Weise mit der Welt der Mikroben und können mit ihrer Expertise auch zum Kampf gegen SARS-CoV-2 beitragen.

Seite 16

INHALT

NACHGEFRAGT	
Was machen Sie da, Herr Rüegg?	4
DAS PRODUKT	
Lebenserhaltungssystem	6
DAS HELFERLEIN	
Trinkhalme	7
 SCHWERPUNKTTHEMA:	
TAUCHFAHRT IN DIE WELT DER MIKROBEN	8
 HINTERGRUND	
Winzlinge im Rampenlicht	10
 INFOGRAFIK	
Forschung zu Covid-19 am PSI	16
 REPORTAGE	
Abwarten und Kristalle züchten	18
IM BILD	
Romain Sibille	21
IN DER SCHWEIZ	
Sauberes Biogas für eine erfolgreiche Energiewende	22
In Inwil erproben Forschende des PSI, wie sie die Reinigung von Biogas im grossen Massstab optimieren können.	
IN KÜRZE	
Aktuelles aus der PSI-Forschung	26
1 Entscheidungshilfe beim Autokauf	
2 Pionisches Helium nachgewiesen	
3 Energieverbrauch der Industrie	
4 Leuchtmittel der Zukunft	
GALERIE	
Besondere Zeiten am PSI	28
Trotz der Pandemie ging und geht die Arbeit an den Forschungsanlagen des PSI weiter.	
ZUR PERSON	
Die Kunst des Loslassens	34
Cédric Aubert lernte am PSI, mit komplexen Problemen umzugehen. Nun beschäftigt er sich mit der unterirdischen Infrastruktur von Städten.	
WIR ÜBER UNS	38
IMPRESSUM	40
AUSBLICK	41



Was machen Sie da, Herr Rüegg?

Die SARS-CoV-2-Pandemie hält die Welt immer noch in Atem – auch die Mitarbeitenden des PSI. Christian Rüegg erklärt, wie die Forschung trotzdem weitergeht und dass es wichtig ist, diese aus einer langfristigen Perspektive heraus zu betreiben.

NACHGEFRAGT

Herr Rüegg, wie wirken sich die Pandemie und die Massnahmen, die zu ihrer Eindämmung ergriffen wurden, auf die Forschung des PSI aus?

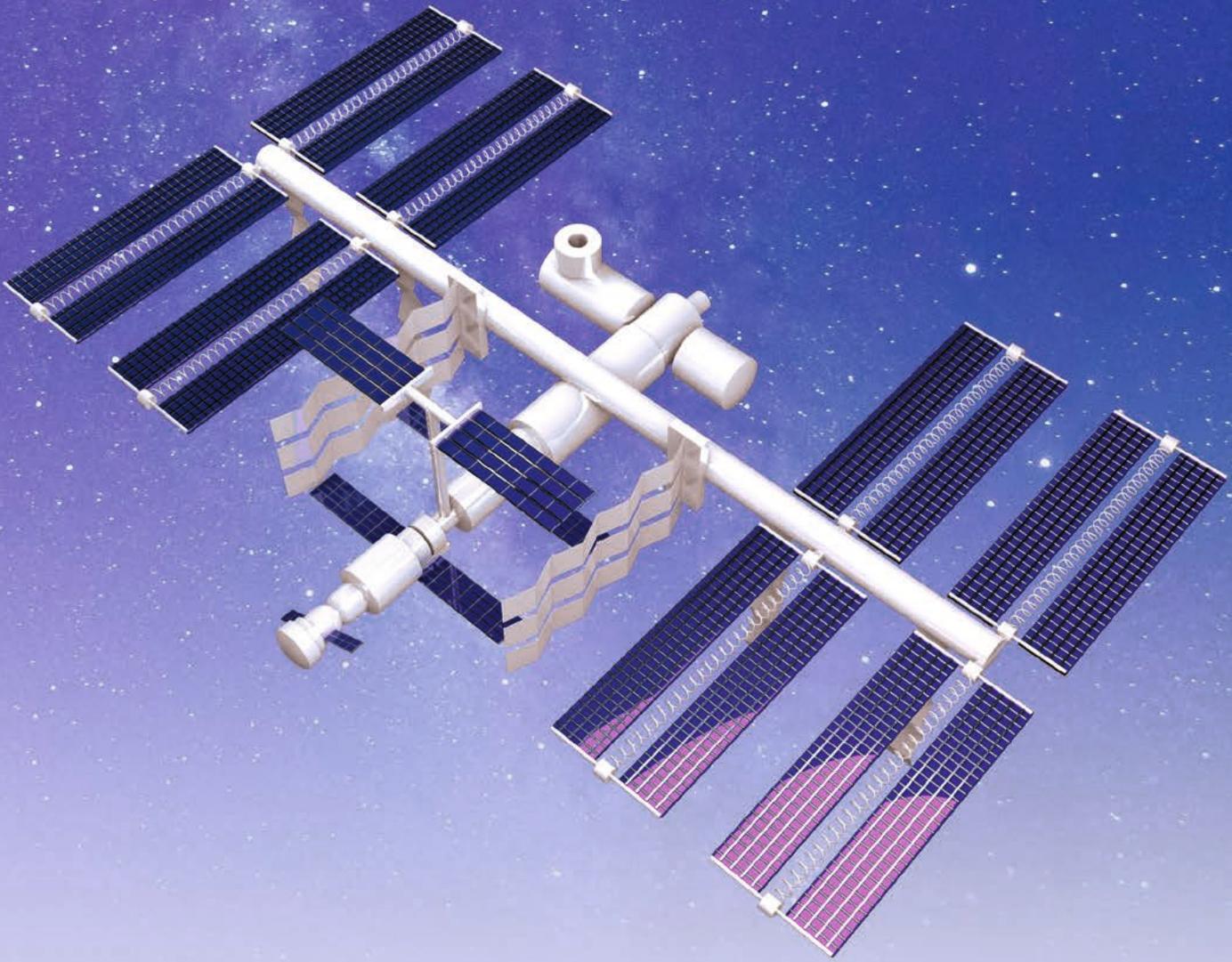
Wir setzen die Empfehlungen des Schweizer Bundesrates und des Bundesamtes für Gesundheit um. Ausserdem besitzen wir für das Vorgehen in solch einem Krisenfall genaue Pläne, die sich an verschiedenen Szenarien orientieren. Darin ist beispielsweise festgelegt, welche Aktivitäten am PSI noch möglich sind und wie hoch der Anteil der Mitarbeitenden sein darf, die vor Ort arbeiten. Im aktuellen Fall ging das bis zur dritthöchsten Stufe der Betriebseinschränkungen, bei der nur noch 20 Prozent der Belegschaft vor Ort waren. Wir haben es trotzdem geschafft, für die Covid-19-Forschung wichtige Anlagen weiter in Betrieb zu halten, beispielsweise die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Nicht zuletzt unsere Roboterarme, mit denen man Messungen automatisiert durchführen kann, waren dabei sehr hilfreich. Auch die Behandlungen von Patienten am Zentrum für Protonentherapie gingen weiter.

Wie kann das PSI bei der Erforschung des Virus helfen?

Wir können beispielsweise die Strukturen von Proteinen mithilfe der SLS aufklären und so dazu beitragen, dass möglichst bald Wirkstoffe gegen das Virus gefunden werden. Ausserdem arbeiten bei uns Forschende, die auf ihrem jeweiligen Gebiet weltweit spitze sind und mit zahlreichen anderen Wissenschaftlern weltweit und interdisziplinär zusammenarbeiten. Selbst wenn sie vorher nicht an Coronaviren geforscht haben, besitzen sie die Methoden und die Expertise, sich nun darauf zu konzentrieren. So erforschen wir schon lange sogenannte Aerosole, winzige flüssige oder feste Teilchen, die in der Luft schweben. Da können wir helfen, diese als mögliche Virusüberträger zu untersuchen.

Gibt es denn schon konkrete Ergebnisse aus der PSI-Forschung zu dem Virus?

Erste Publikationen sind bereits erschienen. Wir verfolgen derzeit einige vielversprechende Ansätze. Beispielsweise untersuchen wir die Struktur eines Proteins, das unter anderem für die Vermehrung des Virus wichtig ist. Wir hoffen, dadurch einen entsprechenden Wirkstoff identifizieren zu können. Oder wir schauen genau in befallenes Lungengewebe hinein, um besser zu verstehen, wie sich das Virus dort ausbreitet und Patienten schädigt. Das sind nur zwei von vielen ganz unterschiedlichen Fragen, auf die Forschende am PSI Antworten suchen. Letztendlich zeigt auch diese Krise, wie wichtig es ist, Forschung dauerhaft und mit langem Atem zu betreiben, denn auch in Zukunft werden wir immer wieder mit grossen Herausforderungen konfrontiert werden.



So manches, was am PSI untersucht wird, könnte eines Tages dazu beitragen, ein nützliches Produkt zu verbessern. Zum Beispiel in der Raumfahrt das

Lebenserhaltungssystem

Unsere Lungen sind für die Erdatmosphäre optimiert. Bei 21 Prozent Sauerstoff, etwas Wasserdampf und nur 0,04 Prozent Kohlendioxid fühlen wir uns wohl. Unsere Ausatemluft dagegen enthält etwas weniger Sauerstoff (17 Prozent), mehr Wasserdampf und vor allem: den hundertfachen Wert an Kohlendioxid. Eine Raumkapsel wie die Internationale Raumstation ISS benötigt daher ein Lebenserhaltungssystem, das die Atemluft aufbereitet.

Bisher filtern an Bord der ISS synthetische Gesteine namens Zeolithe das überschüssige Kohlendioxid aus der Luft. Zukünftige Entwicklungen könnten jedoch andere Stoffe nutzen. Die NASA hat daher auch ein Spin-off des PSI angefragt, das an sogenannten MOFs forscht. Diese metallorganischen Gerüstverbindungen (die Abkürzung kommt aus dem Englischen: metal-organic frameworks) sind künstlich hergestellte Materialien, die von mikroskopisch kleinen Poren durchzogen sind. Dank der Summe ihrer Poren haben MOFs insgesamt eine riesige Oberfläche.

Diese Eigenschaft liesse sich für die Luftaufbereitung an der ISS ausnutzen: MOFs könnten helfen, den Wasserdampf und das Kohlendioxid herauszufiltern.

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

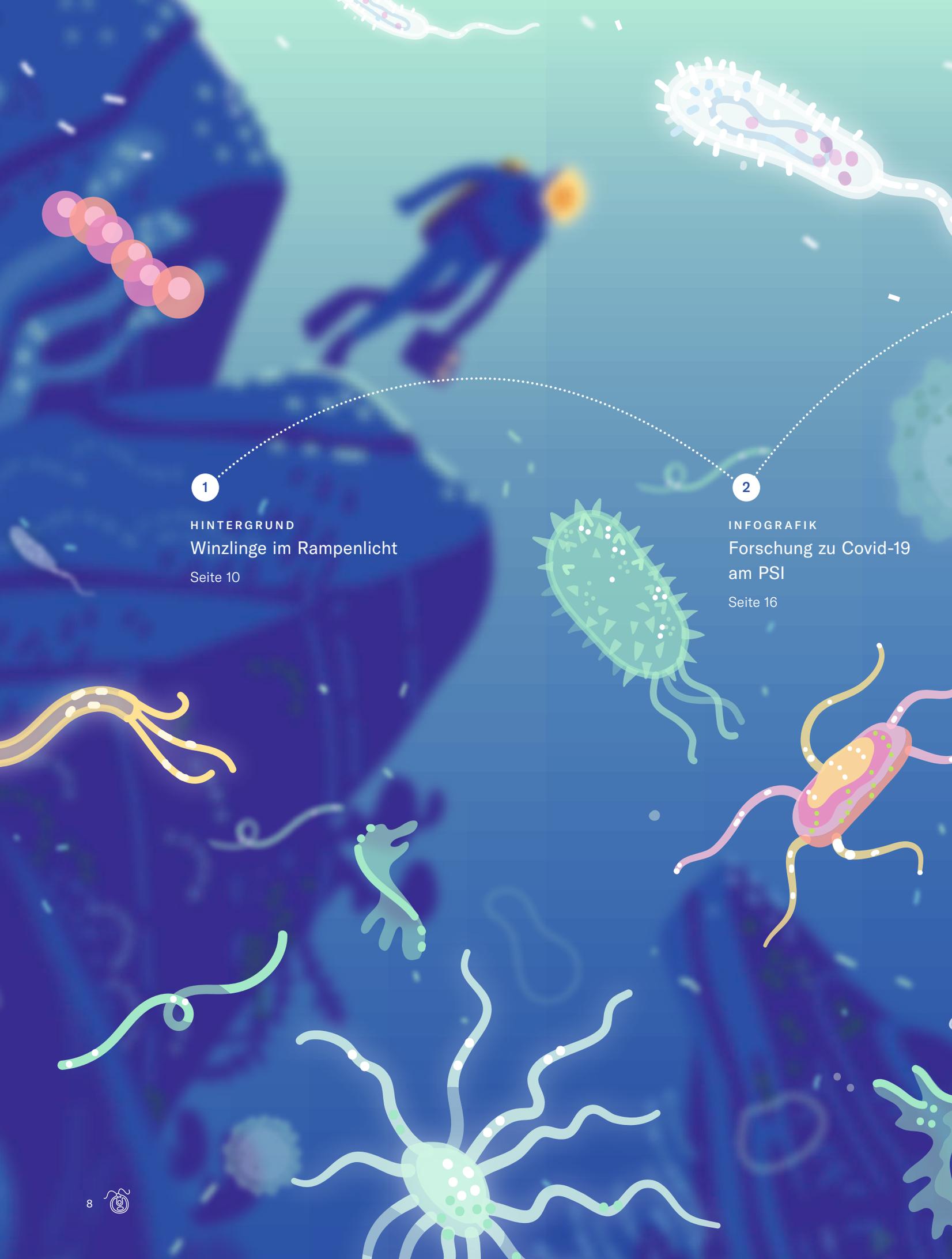
Trinkhalme

Zur Vermeidung von Plastikmüll werden in vielen Ländern Einweg-Trinkhalme aus Kunststoff verboten. Sie werden uns dank alter Urlaubsfotos in Erinnerung bleiben. Und auch PSI-Forschende wussten Plastik-Trinkhalme zu schätzen: Sie nutzten die Röhrchen, um pulverige Proben gezielt in ihr Messinstrument zu füllen.

Bei dem Pulver handelte es sich um metallorganische Gerüstverbindungen, kurz MOFs. MOFs sind künstlich hergestellte, mikroporöse Materialien, die sich als Trägermaterialien beispielsweise für Gasspeicherung, Stofftrennung oder Katalyse eignen.

Eines der Geräte, mit denen die Forschenden ihre MOFs untersuchten, hatte eine Probenkammer, die am Ende eines langen Glasröhrchens sass. Die pulverförmigen MOFs drohten, an den Wänden dieses Glasröhrchens hängen zu bleiben. Daher nahmen die Forschenden einen konventionellen Kunststoff-Trichter und verlängerten das Trichterrohr um einen angefügten Trinkhalm. Dieses simple Konstrukt brachte das Pulver besser ans Ziel, als so manches Spezialinstrument es gekonnt hätte.





1

HINTERGRUND
Winzlinge im Rampenlicht
Seite 10

2

INFOGRAFIK
Forschung zu Covid-19
am PSI
Seite 16



REPORTAGE

3 Abwarten und Kristalle züchten

Seite 18

SCHWERPUNKTTHEMA

Tauchfahrt in die Welt der Mikroben

Mikroorganismen und Viren sind viel mehr als nur Krankheitserreger. Sie sind die Arbeitspferde der Biotechnologie. Die Erforschung der winzigen Wesen bietet Chancen auf neue Therapien und Wirkstoffe oder hilft dabei, grundlegende Vorgänge des Lebens besser zu verstehen. In jedem Fall lohnt ein genauer Blick in diese fremde und exotische Welt.

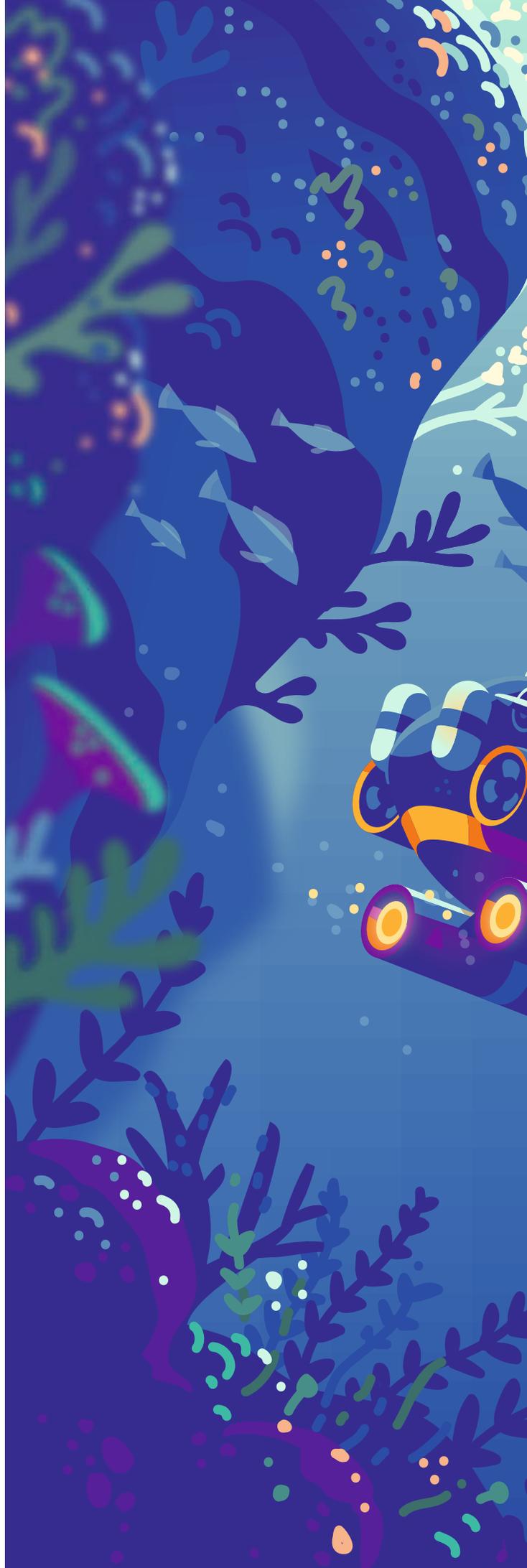
Winzlinge im Rampenlicht

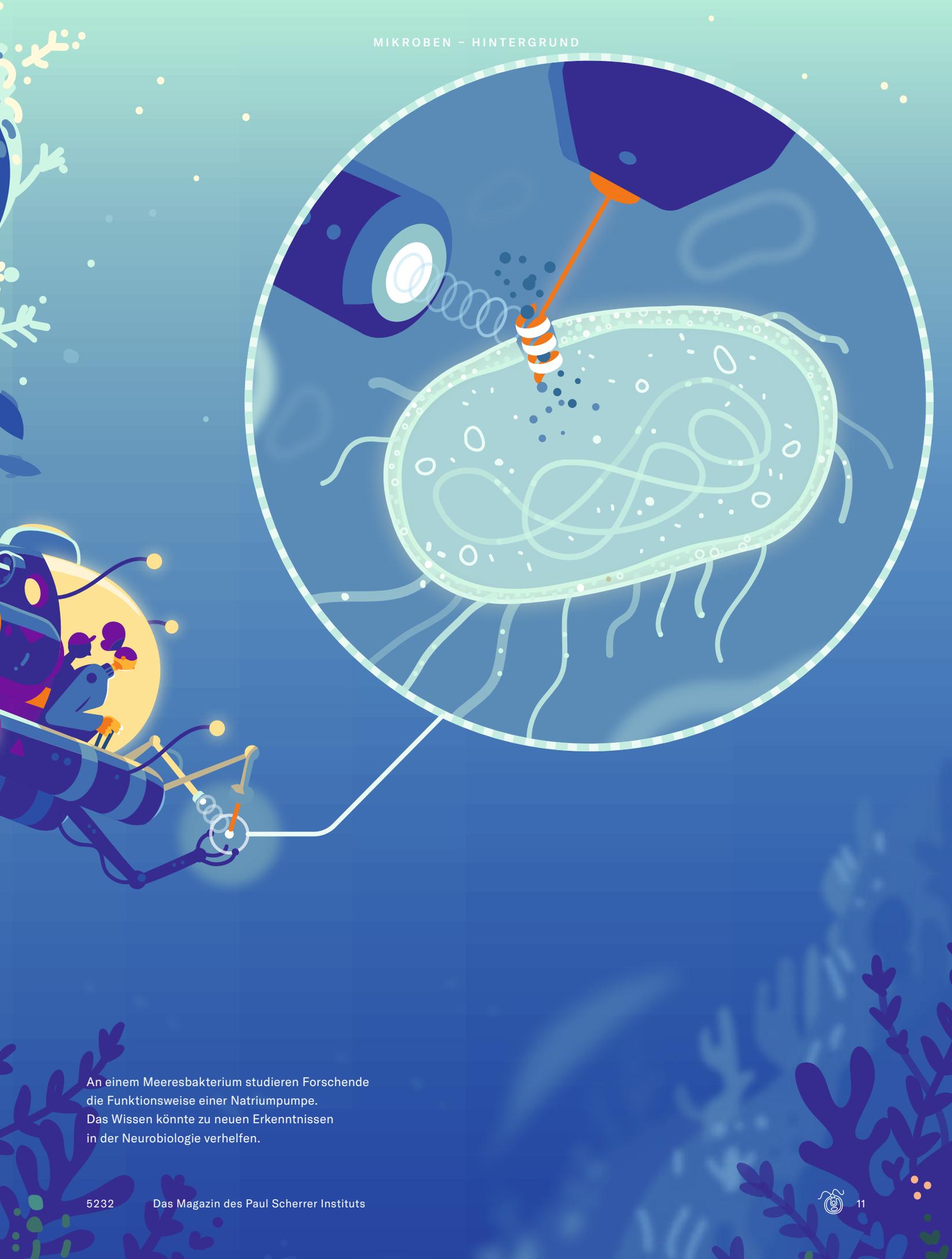
Die Welt der Mikroben und Viren ist extrem alt und äusserst vielfältig. Mithilfe der Grossforschungsanlagen des PSI blicken Forschende tief in diesen fremden Kosmos und erkunden vor allem die Proteine exotischer Wesen.

Text: Sabine Goldhahn

Seit sie vor etwa 3,5 Milliarden Jahren als erstes Leben auf unserem Planeten entstanden, prägen sie die Erde wie keine andere Lebensform: Mikroorganismen. In dieser bunt zusammengewürfelten Gruppe tummeln sich so unterschiedliche Vertreter wie Bakterien, Archaeobakterien, Algen, Hefen, Amöben oder Parasiten wie der Malaria-Erreger. Doch so vielfältig Mikroorganismen auch sein mögen, eine biologische Daseinsform schliessen auch sie nicht ein: Viren. Denn diese sind ein Grenzfall zwischen dem Belebten und Unbelebten. Sie besitzen keinen eigenen Stoffwechsel und brauchen deshalb immer einen Wirt, um zum Leben zu erwachen und sich zu vermehren. Die allermeisten Mikroorganismen und Viren sind für Menschen harmlos oder sehr nützlich, etwa bei der Verdauung oder um Lebensmittel herzustellen, Abwasser zu reinigen oder Humus zu bilden. Einige wenige schaden Mensch und Tier auch, so wie die Erreger gefährlicher Krankheiten.

Kein Wunder also, dass sich auch Forschende des PSI mit Mikroorganismen und Viren beschäftigen. Da diese so winzig klein sind und ihre Grösse teilweise nur ein Hundertstel oder gar ein Tausendstel der Dicke eines menschlichen Haares ausmacht, kann man sie und ihre Bestandteile nur unter extrem starker Vergrösserung gut studieren. Übliche Lichtmikroskope reichen dafür bei Weitem nicht aus. Wissenschaftler wie Gebhard Schertler, Leiter des Forschungsbereichs Biologie und Chemie, und sein Team setzen deshalb auf die Grossforschungsanlagen des PSI. An der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS oder dem Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL lassen sich die Proteine





An einem Meeresbakterium studieren Forschende die Funktionsweise einer Natriumpumpe. Das Wissen könnte zu neuen Erkenntnissen in der Neurobiologie verhelfen.

Die beiden haarähnlichen Anhängsel der Alge *Chlamydomonas* dienen ihrem Antrieb. Ähnliche Strukturen finden sich aber auch in menschlichen Atemwegen. An ihnen infiziert SARS-CoV-2 den Körper. Deshalb ist es wichtig, ihre genaue Funktionsweise zu studieren.



und Biomoleküle der Mikroorganismen mithilfe von Röntgen- oder Laserlicht bis auf einzelne Atome genau betrachten und die Eigenschaften ihrer Strukturen entschlüsseln.

Chemiker Schertler hat eine Passion für den Mikrokosmos. Winzige Wesen wie *Escherichia coli*, Archaeobakterien, Baculoviren und andere haben ihn während seiner fünfunddreissigjährigen Forscherkarriere in verschiedenen Laboren beschäftigt. «Mikroben sind die Arbeitspferde der Biotechnologie», sagt er und spricht begeistert über ihre grosse Bedeutung für den Menschen: «Sie können nur aus einer einzigen Zelle bestehen, als dichte Zellschichten aus Mikroorganismen, sogenannte Biofilme, oder auch nur als winziger Partikel existieren.» In der Biotechnologie und Medizin lassen sie sich als chemische Miniaturfabriken nutzen, um Produkte wie Aminosäuren, Medikamente oder Enzyme herzustellen und zu erforschen.

Einzeller mit Sonnenkollektor

In den Laboren des PSI arbeiten Forschende mit Proteinen von unterschiedlichsten Mikroorganismen und Viren. Darunter finden sich harmlose Fragmente eines der stärksten Gifte überhaupt, dem Botulinustoxin, das unter dem Namen «Botox» bei einigen neurologischen Krankheiten hilft – oder in der Schönheitsbranche Falten glättet. Mithilfe des Röntgenlichts der SLS haben Biophysiker Roger Benoit und sein Team die Struktur eines Protein-Komplexes bestimmt, die genau zeigt, wie das Toxin an eine Nervenzelle bindet und dann deren Aktivität blockiert. Die Ergebnisse können nützlich sein für die Entwicklung verbesserter Botox-Medikamente, bei denen die Gefahr einer Überdosierung geringer ist als bisher.

Mithilfe der Anlagen des PSI können Forschende aber nicht nur die starre Struktur von Molekülen aufklären, sondern sogar deren Bewegungen aufzeichnen. So untersuchen PSI-Forschende komplexe lichtgetriebene Ionenpumpen beispielsweise aus sogenannten extremophilen Archaeobakterien, die noch an den unwirtlichsten Orten der Erde leben können. Die Pumpen dienen den Forschenden als Modell, an dem sie lichtgetriebene Stoffwechselprozesse und Strukturveränderungen von Proteinen zum Beispiel am SwissFEL untersuchen.

Kinozeit am SwissFEL

Erst kürzlich haben Jörg Standfuss und sein Team am SwissFEL die Funktionsweise eines Retinal-gesteuerten Proteins aus einem Mikroorganismus aufgeklärt, der üblicherweise in den Ozeanen der Erde lebt. In seiner Mitte birgt das Protein eine Form

von Vitamin A, das Retinal-Molekül, welches als Lichtrezeptor dient. Fällt Licht auf dieses Molekül, dann absorbiert es einen kleinen Teil davon und verändert seine Form. Dieser Vorgang setzt eine Pumpe in Gang, die Natrium aus der Zelle befördert. Den Forschenden ist es gelungen, diese Natriumpumpe des marinen Bakteriums in Aktion zu filmen. Das Wissen über die genaue Funktionsweise solcher lichtgetriebenen Pumpen lässt sich vielfältig nutzen, hoffen die PSI-Forschenden. «Da die Aktivität von Nervenzellen in mehrzelligen Lebewesen durch Natriumpumpen in ihren Membranen reguliert wird, kann man mit diesen lichtgetriebenen bakteriellen Natriumpumpen ebenfalls die Aktivität von Nervenzellen steuern, was man sich in der sogenannten Optogenetik zunutze machen kann», erklärt Standfuss. «Wenn man sie mithilfe molekulargenetischer Verfahren in Nervenzellen einfügt, kann man diese durch Lichtsignale spezifisch steuern und so die Funktionsweise bestimmter Gehirnregionen erforschen.» Mit den gewonnenen Erkenntnissen will man in der Neurobiologie Fortschritte erzielen.

Coronaviren im Visier

Die Einsatzmöglichkeiten von SwissFEL und SLS für die Forschung an Proteinen von Mikroben und Viren sind überaus vielfältig. Das PSI ist daher aufgrund seiner exzellenten Infrastruktur auch für andere Forschende und die Industrie ein gefragter Partner und unterstützt Forschungsk Kooperationen aus aller Welt. Auch an der Bekämpfung des SARS-CoV-2-Virus hat sich das PSI aktiv mit einer Vielzahl von Initiativen beteiligt. So hat das Institut bereits im März 2020 externe Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aufgefordert, die Möglichkeit an der SLS zu nutzen, zeitnah Struktur und Funktionsweise von SARS-CoV-2 mit modernsten Techniken aufzuklären, um Wirkstoffe und Diagnostika zu entwickeln. In einer Zusammenarbeit mit Forschenden der Goethe-Universität Frankfurt am Main gab es bereits wenige Wochen später die ersten Ergebnisse. An einer der drei SLS-Strahllinien für makromolekulare Kristallografie haben die Forschenden das Enzym Protease PLpro untersucht, welches SARS-CoV-2 für den Zusammenbau neuer Viruspartikel in menschlichen Zellen benötigt. Experimente haben gezeigt, wie mit einem möglichen Hemmstoff gegen PLpro die Virusverbreitung blockiert und die antivirale Immunität in menschlichen Epithelzellen, dem Haupteintrittsort des Erregers, erhöht wird. Diese Erkenntnisse eröffnen Möglichkeiten für künftige Wirkstoffe (für weitere Informationen zu Covid-19-Forschung am PSI: siehe Infografik Seite 16).

Dem internationalen Team kam zugute, dass die SLS-Gruppe für Makromolekulare Kristallografie unter Leitung von Meitian Wang grosse Erfahrung in der Charakterisierung von viralen Strukturen besitzt. So hat bereits die PSI-Forscherin Justyna Wojdyla gemeinsam mit einer chinesischen Forschungsgruppe Proteinstrukturen verschiedener Viren aufgeklärt, die gefährlich für den Menschen sind. Für ihre Analysen richtete sie das starke Röntgenlicht der SLS auf Proteinkristalle von Coronaviren wie MERS-CoV und HKU1 sowie dem Alongshan-Virus. Während die zwei Coronaviren besonders die Atemwege und die Lunge befallen, verursacht das von Zecken übertragene Alongshan-Virus anhaltende Kopfschmerzen, Müdigkeit und Übelkeit. Allen untersuchten Viren ist wie bei SARS-CoV-2 gemein, dass bislang weder eine Impfung noch eine wirksame antivirale Therapie zur Verfügung steht. «Unsere Experimente an der SLS-Strahllinie haben dazu beigetragen, die Struktur und Funktionsweise der Viren besser zu verstehen», freut sich Wojdyla. Für die Untersuchungen an dem Coronavirus HKU1 verwendete die Röntgenkristallografie-Spezialistin an der MX-Strahllinie der SLS eine besondere Technik: die *single-wavelength anomalous dispersion*. Bei diesem Verfahren wird der Proteinkristall nur sehr kurz dem starken Röntgenlicht ausgesetzt, wodurch mögliche Strahlenschäden am Molekül und damit das Risiko für Fehler während der Datenerfassung reduziert werden.

Mikroben in Bewegung

Neben viralen und bakteriellen Proteinkristallen entschlüsseln PSI-Forschende auch andere Strukturen von winzigen Einzellern, so etwa die zwei Geisseln der Grünalge *Chlamydomonas*. Die im Süsswasser lebende Mikrobe könnte helfen, den Eintrittsmechanismus des neuen Coronavirus in den Körper zu verstehen. Ihre Geisseln sind feine Zellfortsätze aus Proteinen, die in ähnlicher Form auch in den Atemwegen des Menschen vorkommen. Wenn sich die Flimmerhärchen dort bewegen, wogen sie wie ein Seegrassfeld im Meer. Flimmerhärchen gibt es zudem in den flüssigkeitsgefüllten Hirnkammern, auf Embryonen und im Eileiter. Sie befördern beispielsweise die Eizelle und das Spermium und können bei genetischen Defekten zu Unfruchtbarkeit führen. «Die Flimmerhärchen spielen bei sehr vielen Transportfunktionen im Körper eine grosse Rolle», erklärt Takashi Ishikawa, der seit zehn Jahren am PSI arbeitet und die Grünalgen als Modellsystem erforscht. «Wenn sie ausfallen, werden wichtige Schutzmechanismen ausser Kraft gesetzt.» In den Atemwegen schaffen sie Schleim und Bakterien nach aussen – und sind Ziel für Corona-

viren. In der frühen Infektionsphase dringen SARS-CoV-1, der Erreger der ersten SARS-Epidemie, und SARS-CoV-2 über die Zellen der Flimmerhärchen in die Atemwege ein.

Deshalb will Ishikawa genau verstehen, wie die Bewegung der Geisseln zustande kommt und was sie hemmt. Mithilfe der Kryo-Röntgentomografie an der SLS sowie der Kryo-Elektronenmikroskopie untersucht er die wenige Mikrometer langen Zellfortsätze, in deren Innerem sich ein zartes Gerüst aus Proteinröhrchen entspannt: die sogenannten Mikrotubuli. Auf ihnen sitzen Zehntausende winziger molekularer Motoren, welche die Flimmerhärchen aktiv bewegen. Ishikawas Testobjekt *Chlamydomonas* ist dabei besonders raffiniert: Entweder schlagen ihre zwei Geisseln im Takt, als würde die Alge brustschwimmen, oder sie vollführen wellenförmige Biegungen zur Seite. Die Menge an Kalzium-Ionen ist entscheidend dafür, in welchem Schwimmprogramm die Alge unterwegs ist. Welchen Effekt dies auf das komplexe Zusammenspiel der molekularen Motoren in den Zellfortsätzen hat, will der Japaner nun mithilfe der Röntgentomografie an der cSAXS-Strahllinie der SLS herausfinden.

Neue Wirkstoffe sind das Ziel

Einem ganz anderen und weniger harmlosen Mikroorganismus als der Grünalge wollen Forschende ebenfalls mithilfe der SLS auf die Schliche kommen: dem Malaria-Erreger *Plasmodium falciparum*. Die Physiologie dieser winzigen Parasiten ist der des Menschen leider sehr ähnlich – zumindest auf zellulärer Ebene. Deshalb lassen sich nur schwer Wirkstoffe gegen *Plasmodium* entwickeln, die nicht zu starke Nebenwirkungen entfalten. Mithilfe des Synchrotronlichts der SLS suchen PSI-Forschende deshalb nach kleinen strukturellen Unterschieden im Stützapparat, dem sogenannten Zellskelett, zwischen dem Parasiten und dem Menschen. Diese kleinen Unterschiede können helfen, Wirkstoffe zu entwickeln, die das Wachstum der Parasitenzellen, nicht aber der menschlichen Zellen stören.

In enger Zusammenarbeit mit Sergey Kapishnikov von Weizmann-Institut in Israel hat PSI-Forscher Daniel Grolimund in einem internationalen Forschungsprojekt eine andere Möglichkeit aufgezeigt, die den Malaria-Erreger künftig ausschalten könnte. Der Trick dabei ist, dessen Überlebensstrategie zu unterwandern. Wenn *Plasmodium* sich nach einem Stich der Anopheles-Mücke in den roten Blutkörperchen seines Wirtes vermehrt, verdaut es dort den Blutfarbstoff Hämoglobin. Dabei wird aus dem Hämoglobin das giftige Häm, ein Eisenkomplex, freigesetzt. Der ist für *Plasmodium* schädlich, weshalb der Parasit ihn in ein unlösliches Kristallpaket





MIKROBEN - HINTERGRUND

Der Malaria-Erreger vermehrt sich in den Blutkörperchen des Menschen. Dafür muss er das für ihn giftige Häm, die Eisenkomponente des Blutfarbstoffs, ausser Gefecht setzen. Ein Wirkstoff, der diesen Vorgang blockiert, könnte Erkrankte therapieren.

umwandelt. Die Forschenden wollten verstehen, wie dieser Prozess genau vonstattengeht. «Mittels Röntgen-Fluoreszenzmikroskopie haben wir an der SLS gemessen, wo in den Parasiten wie viel Häm verteilt ist, und dann berechnet, wie schnell der Parasit es umwandelt», sagt Grolimund. Die Ergebnisse zeigen, welch hohen Aufwand *Plasmodium* treiben muss, um Häm als Kristallpaket zu verpacken. Es nutzt unter anderem ein Hilfsprotein als Werkzeug, das Protein PV5. Wenn man dieses Werkzeug mit einem geeigneten Wirkstoff lahmlegen könnte, würde der Malaria-Erreger den Schutz vor dem Häm verlieren und sterben, hoffen die Forscher. Doch bis dahin sind noch viele weitere Experimente nötig.

«Die Erforschung grundlegender biologischer Prozesse an Mikroorganismen sowie die Analyse von Biomolekülen der Krankheitserreger ist eine Erfolgsgeschichte für das PSI», resümiert Gebhard

Schertler. Sie zeigt zum einen die Bedeutung der Grundlagenforschung für das Renommee des PSI und zum anderen erlaubt sie eine schnelle Reaktion des Instituts bei neuen Herausforderungen wie der Covid-19-Pandemie. ◆

Forschung zu Covid-19 am PSI

Auch wenn das Virus SARS-CoV-2 erst seit Ende 2019 die Welt in Atem hält, Forschung an Verwandten des Erregers oder zu Prozessen, die im viralen Vermehrungszyklus eine Rolle spielen, gab es bereits vorher – auch am PSI. Auf diese Expertise, beispielsweise bei der Erforschung von Proteinen und Geweben, der Zellkultur oder der Radiopharmazie, sowie auf die bereits bestehenden Kooperationen mit Institutionen und Forschenden weltweit bauen die Aktivitäten auf, neue Strategien gegen den Erreger zu entwickeln.

Greifarm für den Erreger

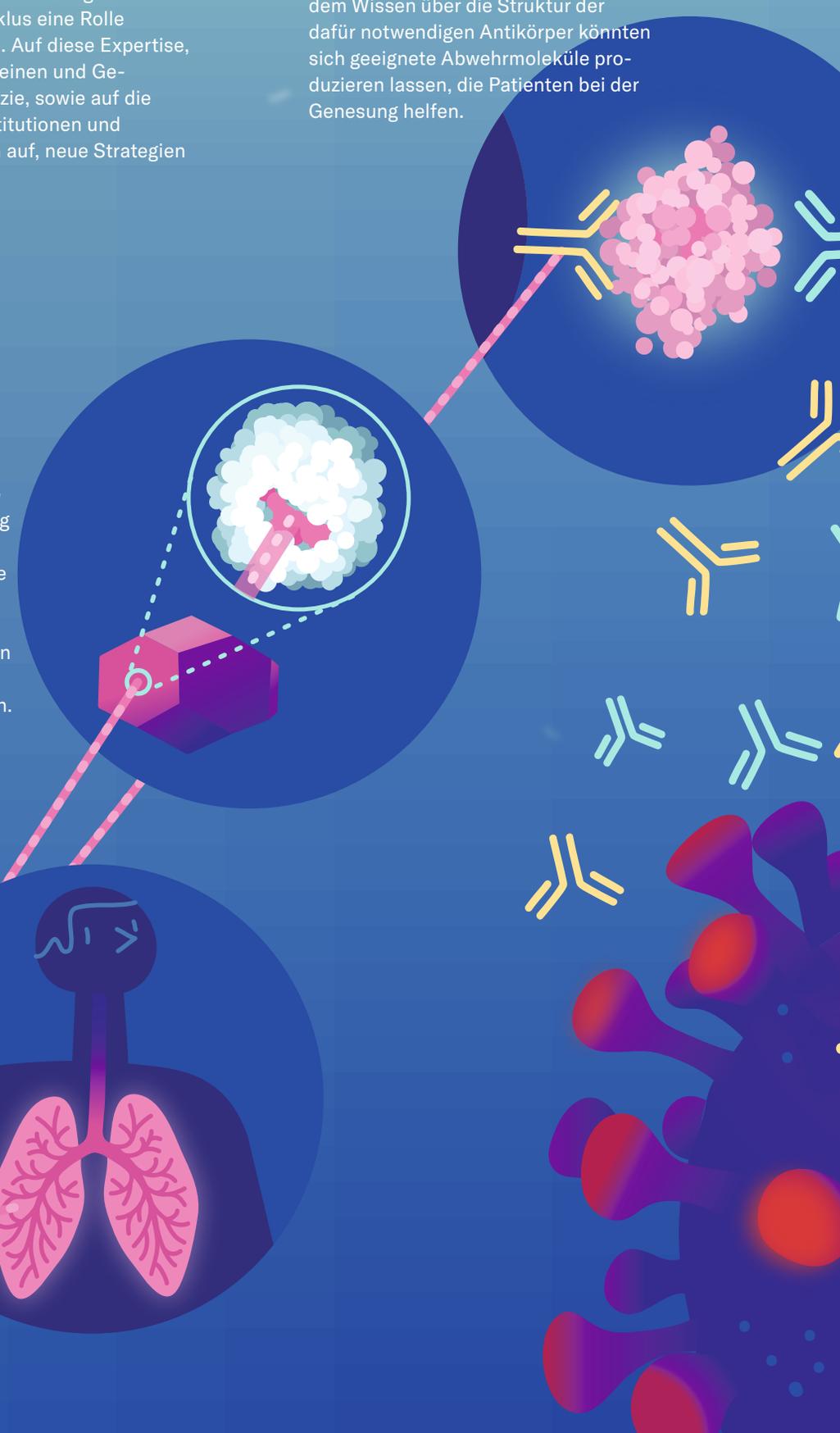
An der SLS können Komplexe aus Antikörpern und Virusproteinen untersucht werden. Das Immunsystem eines Infizierten produziert Antikörper, die gezielt an Proteine auf der Oberfläche des Virus binden, um es zu bekämpfen. Mit dem Wissen über die Struktur der dafür notwendigen Antikörper könnten sich geeignete Abwehrmoleküle produzieren lassen, die Patienten bei der Genesung helfen.

Wirkstoff im Visier

Mithilfe der SLS werden Kristalle, die aus einem SARS-CoV-2-Protein bestehen, genau durchleuchtet (s. a. Abwarten und Kristalle züchten, Seite 18ff.). Es ist sowohl für die Vermehrung als auch für das Ausschalten des Immunsystems wichtig. Je genauer die Struktur des Proteins bekannt ist, desto eher lassen sich Wirkstoffe identifizieren, die genau dieses Protein in seiner Aktivität hemmen und so die Vermehrung des Virus ausbremsen.

Gewebe durchleuchten

Mit dem Röntgenlicht der SLS wird Lungengewebe von Covid-19-Patienten untersucht, um herauszufinden, wo und wie sich das Virus im Atemorgan verbreitet hat. PSI-Forschende wollen ausserdem prüfen, ob steifere Lungenzellen von älteren Patienten anfälliger für Infektionen sind als die vergleichsweise elastischeren Zellen jüngerer Menschen.



Immunsystem auf dem Radar

Die Radiopharmazie kann dazu dienen, das Entzündungsgeschehen in der Lunge besser zu verstehen. Hierzu wird ein sogenannter Radiotracer mit der Bezeichnung ¹⁸F-AzaFol als eine Art Spürhund genutzt. Er bindet spezifisch an Zellen des Immunsystems, die an Entzündungsreaktionen beteiligt sind. Über die Strahlung, die er aussendet, lässt er sich leicht und genau detektieren.



Proteine für Immuntests

In Zellkulturen werden am PSI schwierig zu produzierende Oberflächenproteine von SARS-CoV-2 hergestellt und an einen Partner im Unispital Zürich geliefert. Dort helfen sie in einem Hochdurchsatzverfahren, Blutproben von Blutspendern und Spitalpatienten, ganz gleich aus welchem Grund sie im Spital waren, auf Antikörper gegen das neue Coronavirus SARS-CoV-2 zu untersuchen. So wird unter anderem die Veränderung des Durchseuchungsgrads der Bevölkerung analysiert. Darüber hinaus sollen mittelfristig Antikörper mit interessanten klinischen Eigenschaften isoliert werden, die anschließend am PSI strukturell charakterisiert werden können.



Virus als Sonde

PSI-Forschende wollen SARS-CoV-2-Partikel als Sonde für Immuntests nutzen. Dabei wird eine Substanz an das Virus geheftet, die man zum Leuchten anregen kann. Derlei präparierte Viruspartikel wären ideale Sonden, um Antikörper gegen den Erreger aufzuspüren, beispielsweise im Blutserum von vielleicht Infizierten. Der Vorteil dieser Methode: An das Virus kann wesentlich mehr von der Leuchtsubstanz geheftet werden als an andere Spürhund-Moleküle, beispielsweise Antikörper. Somit hätte man einen günstigen und sehr empfindlichen neuen Test auf SARS-CoV-2.





Um die Struktur und letztlich die Funktionsweise von Proteinen aufzuklären, muss man sie zunächst kristallisieren. Eine mühevollere Arbeit, die die Geduld von Forschenden auf eine harte Probe stellen kann.

Abwarten und Kristalle züchten

Am PSI entschlüsseln Forschende die Struktur der Proteine von Bakterien und Viren. Mit ihrem Wissen lassen sich beispielsweise Medikamente gegen Infektionskrankheiten entwickeln. Doch bevor die Untersuchung beginnen kann, muss ein äusserst kniffliges Problem gelöst werden: die Kristallisation der Moleküle.

Text: Brigitte Osterath

Chia-Ying Huang greift zum Glasschneider. Vorsichtig, aber dennoch kraftvoll trennt sie ein kleines Stück aus der dünnen Glasplatte vor ihr heraus. Nun offenbart sich für den Betrachter, dass die Platte, die zunächst wie aus einem Guss aussah, in ihrer Mitte eine dünne Folie eingeschlossen hat. Mit einem Skalpell ritzt Huang auch daraus etwas heraus. Schliesslich hält sie mit einer Pinzette ein nur wenige Millimeter breites Stück Folie in die Höhe. «Hier drin befinden sich meine Kristalle», verkündet sie stolz.

Mit blossen Auge zu sehen ist da nichts. Erst als Chia-Ying Huang die Folie unter ihr Mikroskop legt, muss auch der misstrauischste Beobachter zugeben, dass sie recht hat: Viele Dutzend farblose Kristalle präsentieren sich am Rand eines eingeschlossenen Flüssigkeitstropfens. Die durchscheinenden Würfelchen erinnern an winzige Diamanten. Huang klemmt den wertvollen Schnipsel Folie in eine Halterung und taucht ihn in eine Schüssel mit flüssigem Stickstoff. Darin warten – durch die eisige

Kälte des Stickstoffs konserviert – bereits andere Proben darauf, an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS vermessen zu werden.

Die Biochemikerin Chia-Ying Huang arbeitet seit vier Jahren als Kristallografin an der SLS. Zuvor hatte sie am Trinity College im irischen Dublin eine neue Methode entwickelt, um Proteine in winzigen Flüssigkeitsmengen zwischen zwei dünnen Plastikfolien zu kristallisieren, schon damals in Kooperation mit den Forschenden an der SLS. Von dieser Technik profitieren jetzt ihre Kollegen am PSI sowie alle externen Nutzer, die mithilfe der SLS die Struktur von sogenannten Membranproteinen entschlüsseln. Diese Biomoleküle, die natürlicherweise in der Hülle von bakteriellen, tierischen oder menschlichen Zellen verankert sind, haben grosse medizinische Bedeutung: Gut ein Drittel aller derzeit zugelassenen Arzneimittel wirkt auf diesen Proteintyp. Doch eine Eigenschaft dieser Membranproteine macht es besonders schwierig, sie zu kristallisieren: Sie sind nicht wasserlöslich. Deshalb braucht man für sie besonders ausgeklügelte Kristallisationsmethoden.

So klein und so begehrt

Der Aufwand lohnt sich, denn um die Funktion von Proteinen zu erforschen und beispielsweise Medikamente gegen Viren oder Bakterien zu entwickeln, müssen Forschende die Struktur der Proteine genau kennen. Zuverlässigster Weg ist die Kristallstrukturanalyse. Dafür werden die Kristalle mit Synchrotronlicht durchleuchtet; aus dem dabei entstehenden Beugungsmuster lässt sich, unter anderem mit komplexen Rechenmethoden, der Aufbau der Moleküle ermitteln. Damit das klappt, müssen sich die Proteinmoleküle allerdings in einem regelmässigen dreidimensionalen Muster, eben einem Kristall, anordnen.

«Proteinkristallisation ist der Flaschenhals der gesamten Strukturbiologie», sagt May Sharpe. Die Kristallografin leitet die Kristallproduktionsstätte, eine PSI-Einrichtung, die internen und externen Nutzern der SLS hilft, die Kristalle zu züchten, die sie für ihre Forschung brauchen. «Gleichzeitig haftet diesem Zweig der Wissenschaft beinahe etwas Magisches an.» Ein Patentrezept fürs Züchten der Kristalle gibt es nämlich nicht: Die Experimente basieren auch nach vielen Jahrzehnten Forschung noch immer grösstenteils auf Versuch und Irrtum.

Wer Kristalle von Kochsalz oder Haushaltszucker züchten möchte, löst eine grosse Menge davon in Wasser und lässt die Lösung eine Weile stehen. Schon beginnen im Regelfall, wunderhübsche Kristalle zu wachsen. Aber mit Proteinen funktioniert das nicht so leicht: Sie sind komplexe Moleküle mit einer komplizierten dreidimensionalen Struktur. Nur

sehr zögerlich ordnen sie sich zu regelmässigen, immer noch recht lockeren Verbänden zusammen. «Sie müssen dafür sehr rein und sehr stabil sein», fasst Sharpe zusammen. «Wir sagen gerne, unsere Proteine müssen glücklich sein.»

Membranproteine, mit denen Chia-Ying Huang arbeitet, sind ganz besonders delikat. «Wirklich stabil sind sie nur in ihrer angestammten Umgebung: in der Zellmembran», erklärt Sharpe. Es ist eine grosse Herausforderung, diese Art von Proteinen überhaupt pur, ohne Membran, aus den Zellen so rein zu gewinnen, dass sich Kristalle mit ihnen züchten lassen.

Proteinkristalle sind winzig – ganz besonders im Vergleich zu einem Bergkristall, den man aus dem Geologiemuseum kennt. Wenn man Glück hat, wachsen sie bis zu einer Grösse von einem halben Millimeter. Andere bleiben so klein, dass man sie nur unter dem Mikroskop sieht.

Viel Überzeugung nötig

In Huangs Labor in der SLS fährt ein Pipettierroboter langsam eine Kunststoffplatte mit Vertiefungen ab. In jedes kleine Nöpfchen der Platte, Wells genannt, pipettiert er winzige Mengen Proteinelösung, gerade mal ein Zehntausendstel eines Milliliters. Für gewöhnlich gibt der Roboter dazu dann eine vorbereitete Mischung aus Wasser, Salzen und chemischen Hilfsmitteln, die sich im Laufe der Zeit als förderlich für die Kristallbildung erwiesen haben.

Da Membranproteine sich nicht in Wasser lösen, geht Huang hier aber anders vor. Entweder gibt sie zusätzlich ein Mittel zu, das die Proteine stabilisiert. Oder sie ersetzt das Wasser als Lösungsmittel durch Lipide, fettliebende Biomoleküle. Bei ihrer selbst entwickelten Methode pipettiert der Roboter das Protein zusammen mit Lipiden und Hilfssubstanzen zwischen Folien so, dass diese den winzigen Lipidtropfen komplett umschliessen. Die Flüssigkeit ist dazwischen sicher bewahrt, weder Luft noch Feuchtigkeit können stören.

«Mit dieser Methode wachsen die Kristalle bei einigen Arten von Membranproteinen viel besser», erklärt Chia-Ying Huang. «Und es gibt noch einen Vorteil: Man muss sie nicht wieder aus der Lösung

«Im Grunde starrt man die ganze Zeit auf Tropfen.»

May Sharpe, Proteinkristallografin am PSI



Proteinkristalle sind klein, teilweise mit 15 Mikrometern Kantenlänge sogar winzig. Erst unter dem Mikroskop wird klar, wie gut die Kristalle sind, sprich, ob sie sich zur Analyse an der SLS eignen.

fischen, wenn sie einmal entstanden sind.» Stattdessen löst Huang einfach die in Folie eingeschweissten Tropfen mitsamt Kristallen mit dem Schneidewerkzeug aus der Platte heraus.

Chia-Ying Huangs Membranproteine liefern besonders winzige Kristalle mit einer Kantenlänge von nur einem Zehntel oder sogar Hundertstel Millimeter. «So kleine Kristalle werden im Röntgenstrahl der SLS leicht zerstört», erklärt sie. «Daher müssen wir viele nacheinander messen, um genügend Daten zu erhalten.» Glücklicherweise entstehen, wenn alles gut läuft, meist gleich mehrere Hundert Kristalle pro Probe. Die werden vom Röntgenstrahl der SLS nach und nach abgetastet und vermessen. Möglich macht das die sogenannte serielle Kristallografie.

Im Plattenhotel gibt's tausend Betten

Das Herz der Kristallproduktionsstätte am PSI ist das «Plattenhotel», wie die Forscherinnen den grossen, auf 20 Grad Celsius temperierten Laborschrank nennen. In ihm lagern bis zu tausend Plastikplatten mit jeweils Dutzenden Proben. Die Forschenden warten darauf, dass in den Proteinlösungen etwas passiert – genauer: dass Kristalle

ausfallen. Regelmässig fahren die Platten automatisch unter eine Kamera, die jedes einzelne Well ablichtet und das Foto speichert.

Chia-Ying Huang betrachtet am Computer Bilder von einer dieser Versuchsreihen. «Die Lösungen sind jetzt schon drei Wochen da drin, aber man sieht immer noch nichts», sagt sie und zeigt auf die unzähligen Fotos von farblosen Tropfen. Frustrieren lässt sie sich davon aber nicht. «Es dauert für gewöhnlich einen Monat, bis sich Kristalle bilden.» Nicht selten aber tut sich gar nichts. Dann setzt die Kristallografin mithilfe des Pipettierroboters neue Proteinlösungen mit einer anderen Zusammensetzung an: Sie erhöht die Proteinkonzentration, tauscht das Lösemittel aus oder fügt Zusatzstoffe hinzu – und wartet wieder.

Nicht immer stellen die Proteine die Geduld der Forscherinnen auf die Probe. Im Gegenteil: Manche fallen überstürzt in einem grossen ungeordneten Haufen aus der Lösung aus. Die Qualität der dabei gebildeten festen Substanzen reicht für die Kristallstrukturanalyse aber nicht aus, da die Moleküle sich nicht in regelmässigen Mustern angeordnet haben. Auch hier heisst es: nochmal neu versuchen – diesmal vielleicht mit einer verdünnten Lösung.

«Proteinkristallisation ist ein undankbarer Job», sagt May Sharpe und lacht. «Im Grunde starrt man die ganze Zeit auf Tropfen. Die meisten Forschenden mögen das nicht, aber mir gefällt es ganz gut.» Sie entwickelte die Leidenschaft für dieses Fachgebiet während ihrer Doktorarbeit beim Biotechnologie- und Pharmaunternehmen Novartis in Basel, wo sie an der Kristallisation von Proteinen zum Zwecke der Wirkstoffentwicklung forschte. Was für ihre Kollegen und Kolleginnen ein notwendiger, aber unliebsamer Schritt war, weckte schnell ihr Interesse.

«Es macht mir Spass, so viele verschiedene Dinge auszuprobieren. Und es ist schön, anderen dabei zu helfen, an die begehrten Kristalle zu kommen», sagt sie. Was May Sharpe in ihren jetzt acht Jahren am PSI übers Züchten von Proteinkristallen gelernt hat? «Man darf nicht zu viel nachdenken», sagt sie. «Stattdessen einfach mal schauen, was passiert, und dazulernen. Vor allem aber muss man sich von der Idee lösen, dass man immer alles versteht, was da passiert.» Genau das ist es, was die beinahe magische Komponente an ihrer Arbeit und an der Tauchfahrt in die Welt der Mikroben ausmacht. ♦



Romain Sibille

An der der Schweizer Spallations-Neutronenquelle SINQ des PSI untersucht Romain Sibille exotische Materialien. Während sich manche dieser Materialien nach den Gesetzen der klassischen Physik chaotisch verhalten, zum Beispiel durch eine un stabile magnetische Konfiguration, verhalten sie sich nach den Gesetzen der Quantenphysik geordnet. Solch eine Ordnung lässt sich über ein Magnetfeld und durch Temperaturveränderung steuern. Diese Forschung eröffnet neue Ansätze, um womöglich dem viel zitierten Quantencomputer näherzukommen.



IN DER SCHWEIZ

Saubereres Biogas für eine erfolgreiche Energiewende

In einer Biogasanlage bei Luzern haben PSI-Forschende ihr Lager aufgeschlagen. Zwischen Wiesen und riesigen Fermentern untersuchen sie, wie sie aus dem Biogas Verunreinigungen entfernen können, um diesen Energieträger noch besser nutzbar zu machen.

Text: Brigitte Osterath



Geschäftsführer Philip Gassner von Swiss Farmer Power Inwil hofft, durch die Zusammenarbeit mit dem PSI besser zu verstehen, warum die Zusammensetzung «seines» Biogases so stark schwanken kann.

Ein Milchtankwagen rollt auf das Gelände der Swiss Farmer Power Inwil (SFPI), knapp zehn Kilometer nördlich von Luzern. Der Fahrer steigt aus, klemmt einen Schlauch an das Fahrzeug und beginnt, Molkeabfälle in einen Lagertank abzupumpen. Gegenüber lagert ein Schaufellader frischen Schweinemist in einer Lagerhalle um. Dort häufen sich zudem Weizenspreu und Säcke mit abgelaufenem Milchpulver. Alles Futter für die wichtigsten Mitarbeiter der Biogasanlage in Inwil: die Mikroorganismen in den über tausend Kubikmetern grossen Fermentern. Sie verdauen das organische Ausgangsmaterial und produzieren daraus unter anderem Biogas. Der wertvolle Energieträger besteht zu einem Grossteil aus Methan, dem Hauptbestandteil von Erdgas.

In der Schweiz fallen jährlich über 1,3 Millionen Tonnen Bioabfälle an. In über hundert Biogasanlagen im Land entsteht daraus Biogas mit einer Leistung von jährlich über 400 Gigawattstunden. Swiss Farmer Power Inwil alleine produziert davon 30 Gigawattstunden. Über ein unscheinbares, zehn Zentimeter dickes Rohr wird das erzeugte Biomethan direkt ins Erdgasnetz eingeleitet. Zum Vergleich: 2018 hatte die Schweiz einen Gasabsatz von rund 37 000 Gigawattstunden.

Eingespeistes Biomethan unterliegt strengen Qualitätskriterien: In der Schweiz muss es beispielsweise zu mindestens 96 Prozent aus Methan bestehen, darf maximal 2 Prozent Wasserstoff und fünf Millionstel Teile Schwefelwasserstoff enthalten. Um einleitfähiges Biomethan zu machen, reinigt der Betrieb das Biogas daher zunächst mit Aktivkohle. Anschliessend wird Kohlendioxid entfernt, das immerhin 30 bis 50 Prozent des Rohbiogases ausmacht. Das geschieht mit einer sogenannten Aminwäsche: Eine chemische Waschlösung, durch die das Biogas geleitet wird, bindet das CO₂ und trennt es so vom Rest.

Schwefel muss raus

Rohbiogas lässt sich in Zukunft noch wirksamer für die Energiewende nutzen, hoffen die PSI-Forscher. Allerdings enthält das Biogas viele weitere Verunreinigungen, die für zukünftige Anwendungen von Bedeutung sind. Ziel ist es daher, das Rohbiogas genauestens auf seine Zusammensetzung zu analysieren und auch kleinste Mengen an Störstoffen effektiv und möglichst kostengünstig zu entfernen.

«Organische Schwefelverbindungen bereiten uns die meisten Kopfschmerzen», sagt Ingenieur und PSI-Gruppenleiter Serge Biollaz. Diese Verbindungen entstehen zusammen mit Schwefelwasserstoff, wenn Bakterien Proteine zerlegen, die Schwefelatome enthalten. Diese und andere Störstoffe verhindern bisher, dass sich Biogas beispielsweise

in einer Brennstoffzelle nutzen lässt. Brennstoffzellen produzieren Strom aus energiereichen Gasen wie Wasserstoff oder Methan. Schwefelverbindungen aber sind für sie pures Gift. Mit Biogasen – wie in Inwil erzeugt – lassen sich deshalb momentan keine Brennstoffzellen betreiben.

«Wir wollen direkt vor Ort die Frage beantworten, wie wir Biogase sauber genug für verschiedene Endnutzungen bekommen», sagt Biollaz. «In diesem Fall soll es rein genug sein für eine Brennstoffzelle.» Dafür darf das Gas maximal 0,5 Millionstel Teile Schwefelverbindungen enthalten. Das ist gerade mal ein Zehntel von dem, was in dem Biomethan zugelassen ist, das die SFPI ins Erdgasnetz einleitet.

Zu diesem Zweck wurde eigens ein Teil der ESI-Plattform, kurz für Energy System Integration, nach Inwil transportiert. Diese Versuchsplattform des PSI testet erneuerbare Energiealternativen in ihrem komplexen Zusammenspiel miteinander.

Auf dem Gelände der SFPI wurde ein Container mit der Forschungsanlage Cosyma aufgestellt und daneben ein weiterer mit Gasanalyse-Messgeräten. «Das war von Anfang an Teil des Konzeptes der ESI», erklärt Biollaz. «Einzelne Elemente wurden genau deshalb in Containern untergebracht, damit man sie flexibel vor Ort einsetzen kann, wie schon 2017 beim Vergär- und Klärwerk Werdhölzli in Zürich.»

Wie die Biogasanlagen profitieren

Gemeinsam mit dem Start-up UniSieve, einem Spin-off der ETH Zürich, erproben die PSI-Forscher in Inwil zudem eine neue Trennmethode, um Kohlendioxid aus dem Biogas zu entfernen: Eine neue Art von Membran von UniSieve soll CO₂ und Methan aufgrund ihrer unterschiedlichen Molekülgrössen trennen – quasi wie ein Sieb. Funktioniert das auch im Praxiseinsatz, könnte das die Kosten für die Erzeugung von Biomethan weiter senken.

Die Bakterien in den Fermentern bekommen viele verschiedene Substrate zur Vergärung vorgelegt. Kein Wunder also, dass die Zusammensetzung des Biogases sehr variabel ist. «Oft kommt es zu unangenehmen Überraschungen», erzählt Philip Gassner, Geschäftsführer bei SFPI: Je nach Tagesform und Fütterung der Bakterien enthält das Biogas beispielsweise zu viel Kohlendioxid, dann wieder zu viel Schwefelwasserstoff.

«Das Biogas soll sogar sauber genug werden für eine Brennstoffzelle.»

Serge Biollaz, Ingenieur im Labor für Bioenergie und Katalyse am PSI



Serge Biollaz, Ingenieur und Gruppenleiter am PSI, auf dem Weg zum PSI-Container mit der Gasreinigungsanlage auf dem Gelände der Biogasanlage in Inwil.

«Ist die Qualität des Biomethans für die Einspeisung nicht gut genug, schliesst sich der Hahn automatisch und wir können nichts mehr ins Erdgasnetz einspeisen», sagt Gassner. «Die Biologie aber läuft weiter.» Dann bleibt SFPI nichts anderes übrig, als das wertvolle Biomethan zu verbrennen. Denn Methan darf keinesfalls in die Atmosphäre gelangen: Es ist noch viel klimaschädlicher als Kohlendioxid, das bei seiner Verbrennung entsteht. «Wir hoffen, mithilfe der PSI-Forschenden besser zu verstehen, was mit unserem Biogas im Laufe der Bildung und Verarbeitung passiert.» Das könnte letztendlich allen Biogasanlagen im Land nützen.

Vom Labor ins echte Leben

Serge Biollaz betritt den vorderen der zwei ESI-Container auf dem SFPI-Gelände. Hier strömt das Biogas hintereinander durch zwei Reaktoren. Im ersten Reaktor wird Schwefelwasserstoff entfernt sowie Terpene, das sind natürliche Kohlenwasserstoffe. Im zweiten Reaktor sollen organische Schwefelverbindungen eliminiert werden, darunter Dimethylsulfid, das laut Biollaz «besonders viele Probleme macht und schwierig abzuscheiden ist.» Dimethylsulfid ist eine sehr häufige Verbindung auf der Erde, da sie auch von Phytoplankton im Meer gebildet wird. Für eine Brennstoffzelle ist auch diese Schwefelverbindung pures Gift.

In ihren Laboren am PSI haben die Forschenden in jahrelanger Kleinstarbeit in Zusammenarbeit mit Industriepartnern nach potenziell geeigneten Sorptionsmaterialien gesucht, die Verunreinigungen besonders effektiv entfernen und auch eine möglichst grosse Bandbreite an Störstoffen abfangen. «Wir wollen nicht an jedem Standort wieder bei Null anfangen müssen», erklärt Biollaz. Was in Inwil funktioniert, sollte auch in anderen Biogasanlagen der Schweiz mit anderen Biogaszusammensetzungen wirtschaftlich funktionieren. Aktuell testen die Forschenden ein Zeolith, ein poröses silizium- und aluminiumhaltiges Material, das auch organische Schwefelverbindungen aufnehmen und festhalten kann.

Im Labor und auf der ESI-Plattform steht den Forschenden kein echtes Biogas zur Verfügung. Stattdessen mischen sie sich eine möglichst ähnliche Gasmischung aus Gasflaschen zusammen. «Das ist natürlich etwas anderes als das, was eine echte Biogasanlage im Betrieb hergibt. Gerade die Situation hier in Inwil ist besonders, weil die Anlage so viele verschiedene Substrate umsetzt», freut sich Julian Indlekofer, Mitarbeiter in der Gruppe von Biollaz, der vor Ort in Inwil mitmisst.

Anhand der erzielten Erkenntnisse wollen die PSI-Forschenden dann die Reinigung des Biogases optimieren – so lange, bis es selbst für eine Brennstoffzelle sauber genug ist. ♦

Aktuelles aus der PSI-Forschung

1 Entscheidungshilfe beim Autokauf

PSI-Forschende haben ein Webtool namens «Carculator» entwickelt, das detailliert die ökologische Bilanz verschiedener Personenwagen berechnet und vergleicht. Dabei wird der gesamte Lebenszyklus der Personenwagen bedacht, darunter die Herstellung aller Fahrzeugteile sowie die Emissionen beim Fahren. Das Webtool findet sich online unter: www.carculator.psi.ch. Das Tool berücksichtigt eine breite Auswahl von Antriebsarten sowie Treibstoffen. Weiterhin geht das Jahr der Zulassung der Fahrzeuge ebenso in die Berechnungen ein wie die Grössenklasse – von Kleinstwagen bis Van – und für den Strommix das Land, in welchem die Fahrzeuge genutzt werden. Am Ende zeigt der Carculator nicht nur alle Treibhausgasemissionen – zusammengerechnet und in CO₂-Äquivalenten –, sondern auch den Ausstoss an Feinstaub und gesundheitsschädlichen Stickoxiden sowie Ökobilanzindikatoren wie Gewässerverschmutzung. Eine der Erkenntnisse der PSI-Forschenden: Das E-Auto ist in der Schweiz und in vielen anderen Ländern schon heute der umweltfreundlichste Personenwagen – selbst wenn die Herstellung der Batterie mit einberechnet wird.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/34147>

2 Pionisches Helium nachgewiesen

Exotische Atome, in denen Elektronen durch andere Teilchen ersetzt werden, ermöglichen tiefe Einblicke in die Quantenwelt. Nach acht Jahren gelang Forschenden am PSI ein schwieriges Experiment: Sie schufen ein künstliches Atom, sogenanntes «pionisches Helium». Dieses entstand, indem sie das Elektron eines Heliumatoms durch ein Pion in einem besonderen Quantenzustand ersetzten. Dadurch lebte das üblicherweise sehr kurzlebige Pion tausend Mal länger als sonst in Materie. Dieser langlebige Zustand wiederum wird es erlauben, das Pion genauer zu vermessen als bisher. Pionen gehören zu einer wichtigen Teilchenfamilie, die auch entscheidend für den Zusammenhalt von Atomkernen ist. Das Experiment glückte in internationaler Zusammenarbeit: Forschende des deutschen Max-Planck-Instituts für Quantenoptik MPQ sowie des europäischen Teilchenforschungslaboratoriums CERN kamen ans PSI, um hier die stärkste Pionenquelle der Welt zu nutzen.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/34000>

3 Energieverbrauch der Industrie

Forschende des PSI haben gemeinsam mit britischen Ökonomen untersucht, wie sich der Energieverbrauch der Schweizer Industrie in Abhängigkeit von den Energiepreisen entwickelt. Dazu betrachteten sie insbesondere die Preise und den Verbrauch sowohl von Elektrizität als auch von Erdgas der vergangenen Dekaden. Ein Resultat: Preissteigerungen bei der Energie wirken sich meist nur langfristig auf den Energieverbrauch aus. Trotz der Anstrengungen zur CO₂-Minderung wird sich der Anteil des Industriesektors an den Gesamtemissionen der Schweiz erhöhen, da die Reduktion in anderen Sektoren aufgrund von verstärkten Klimaschutzanstrengungen noch grösser ausfällt. Der Bedarf an Strom bleibt in der Schweizer Industrie weitestgehend stabil oder wächst sogar. Dadurch steigt der Anteil der Elektrizität am gesamten Endverbrauch von etwa 24 Prozent im Jahr 2015 auf 28 bis 35 Prozent im Jahr 2030 und 32 bis 62 Prozent im Jahr 2050.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/33976>

4 Leuchtmittel der Zukunft

Forschende haben wertvolle Einblicke in ein vielversprechendes Material für organische Leuchtdioden, OLEDs, erhalten. Seit etwa drei Jahren finden sich OLEDs in den Displays von Smartphones, und inzwischen kommen auch die ersten flexiblen Fernsehbildschirme mit diesen Materialien auf den Markt. OLEDs könnten zudem grossflächige Raumbeleuchtungen möglich machen, allerdings fehlen dafür noch die geeigneten Substanzen. Viele der in Frage kommende Substanzen sind für diese Anwendung zu teuer oder zu ineffizient. Die jetzt untersuchte Verbindung, eine gelbliche Substanz namens CuPCP, enthält das günstige Metall Kupfer und lässt sich gut in grossen Mengen herstellen. Messungen am PSI und an der European Synchrotron Radiation Facility im französischen Grenoble bestätigten, dass CuPCP aufgrund seiner chemischen Struktur und seiner quantenchemischen Eigenschaften ein heisser Kandidat für OLEDs ist. Bringt man eine dünne Schicht davon auf einer Elektrode auf und legt dann einen elektrischen Strom an, leuchtet es intensiv grün.

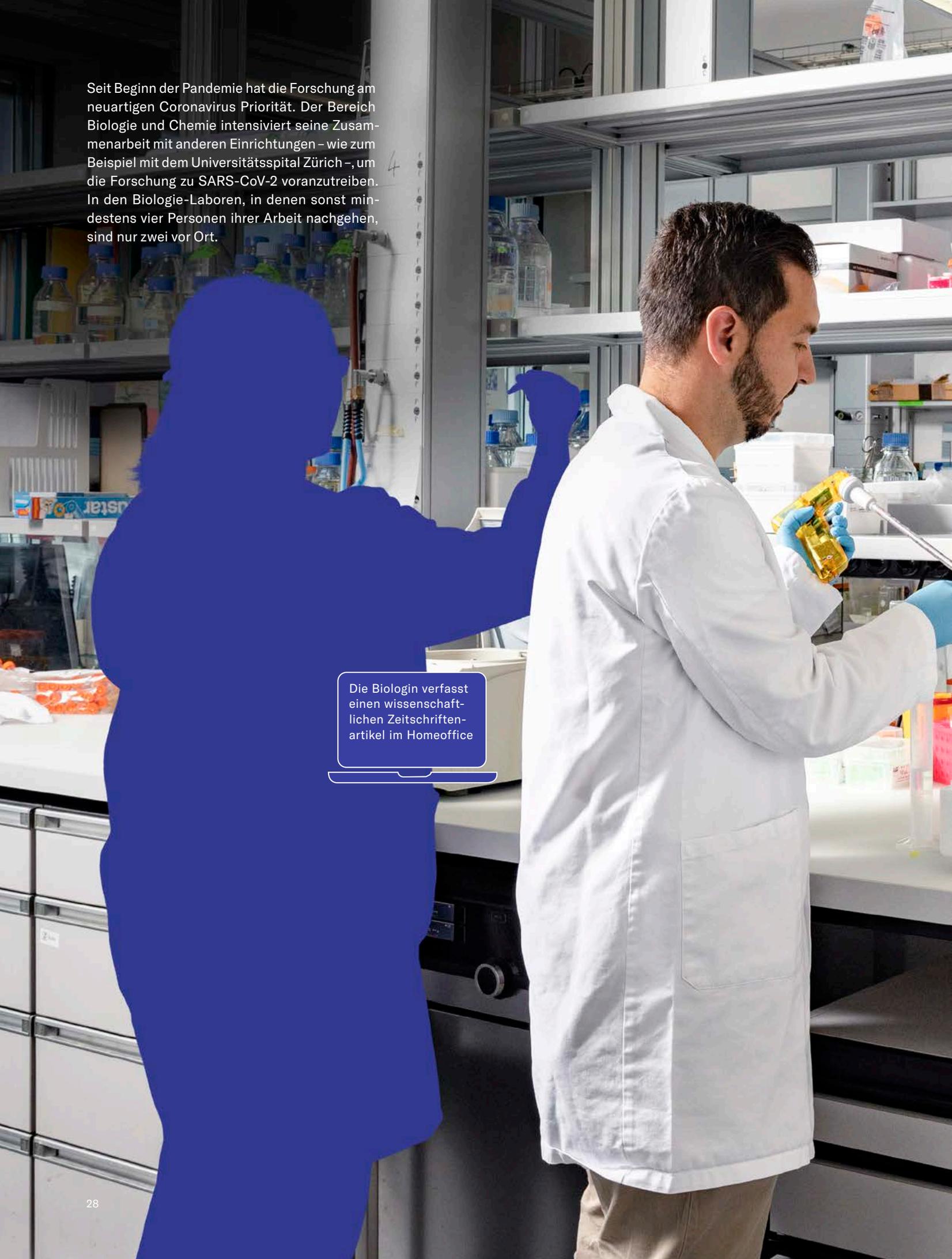
Weitere Informationen:
<http://psi.ch/de/node/33892>

Im Jahr **1998** entwickelte eine britische Firma das erste OLED-Display.

Maximal **25** Prozent der zugeführten Strommenge können klassische OLED-Materialien in Licht umsetzen, der Rest geht als Schwingungsenergie verloren.

Bis zu **93** Prozent Lichtausbeute liefert hingegen die Verbindung CuPCP.

Seit Beginn der Pandemie hat die Forschung am neuartigen Coronavirus Priorität. Der Bereich Biologie und Chemie intensiviert seine Zusammenarbeit mit anderen Einrichtungen – wie zum Beispiel mit dem Universitätsspital Zürich –, um die Forschung zu SARS-CoV-2 voranzutreiben. In den Biologie-Laboren, in denen sonst mindestens vier Personen ihrer Arbeit nachgehen, sind nur zwei vor Ort.



Die Biologin verfasst einen wissenschaftlichen Zeitschriftenartikel im Homeoffice



Der Chemiker liest wissenschaftliche Literatur zu seinem Forschungsgebiet im Homeoffice

Besondere Zeiten am PSI

Montag, 16.03.2020: Der Bundesrat reagiert auf die jüngsten Entwicklungen der Corona-Pandemie und beschliesst für die Schweiz den Wechsel in die ausserordentliche Lage. Am selben Tag wird das Paul Scherrer Institut in die dritthöchste Stufe der Betriebseinschränkungen versetzt, bei der nur noch maximal 20 Prozent aller PSI-Mitarbeitenden am PSI sind. Wer kann, arbeitet – entsprechend den Vorgaben des Bundesrates – im Homeoffice. Fünf Bilder erzählen, wie die Forschung und der Betrieb am PSI trotzdem weitergingen.

Text: Christian Heid



Die Assistentin des Studienbüros zur Erfassung der Behandlungsergebnisse nimmt im Homeoffice per Videokonferenz teil

Der Medizinphysiker, im Homeoffice, nimmt per Videokonferenz teil

Auch die Protonentherapie gehört zu den vitalen Betriebseinheiten: Nicht nur die Behandlung krebserkrankter Patientinnen und Patienten wird nahtlos fortgesetzt. Auch die Sitzungen, in denen Nachsorgeberichte inklusive Bildgebung ehemals behandelter Patienten besprochen werden, gehen in gleicher Weise wie vor der Pandemie weiter. Alle nötigen Personen nehmen daran teil, entweder vor Ort im Besprechungsraum oder per Videoschaltung aus dem Homeoffice.

Der Betrieb des Schweizer Freie-Elektronen-Röntgenlasers SwissFEL ist während der ausserordentlichen Lage eingestellt, aber an der neuen Strahllinie namens Athos arbeiten die Elektriker – wie auch an anderen Orten am PSI – zügig weiter, um sie baldmöglichst in Betrieb zu nehmen. Die Teams sind dabei so auf der Anlage verteilt, dass das Einhalten der Sicherheitsabstände gewährleistet ist.



Der Elektroprojektleiter zeichnet Pläne im Homeoffice



Der Elektroinstallateur-Lernende, im Homeschooling (Berufsschule)



Die Forscherin, die ihr Experiment von jedem Ort der Welt aus steuern kann

Schrank 2 / Steuerung

Am PSI ist während der ausserordentlichen Lage weiterhin die Forschung zur Strukturanalyse von Proteinen möglich. Dieses Wissen wird dringend für die Forschung am Coronavirus benötigt. Da Forschende aus dem Ausland nicht einreisen können, schicken sie ihre Proben per Kurier. An der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS ist gerade rechtzeitig die Fernsteuerung des Roboterarms verbessert worden. Konnten vor Beginn der Corona-Krise bereits 30 Prozent der Experimente via Fernsteuerung durchgeführt werden, so wurde diese Quote noch kurz vor Beginn der Krise auf 100 Prozent gesteigert.



Der IT-Supporter schreibt ein kleines Computerprogramm im Homeoffice

Besonders gefordert während der ausserordentlichen Lage sind die IT-Services: Um fast 2000 Mitarbeitenden Homeoffice zu ermöglichen, müssen zusätzliche Laptops und Lizenzen angeschafft werden. Die Infrastruktur für Videokonferenzen und Telefonie wird schnellstmöglich ausgebaut. Trotz geringer Vor-Ort-Präsenz in der IT-Abteilung, können alle Anforderungen rasch erfüllt werden. Die Mitarbeitenden können in Sicherheit von Zuhause aus weiterarbeiten.

Die Kunst des Loslassens

Cédric Aubert wollte mit einem Glas Wasser die Welt retten, heute entwickelt er den unterirdischen Teil der intelligenten Stadt. Sein Rezept für das Meistern schwieriger Situationen: Er hat genauso viel Vertrauen in andere wie in sich selbst.

Text: Daniel Saraga

Es wird eine Herausforderung für den 54-jährigen Physikingenieur: Das Unternehmen geoProRegio, das Cédric Aubert seit Ende 2019 als Geschäftsführer leitet, wird bis Anfang 2021 von 4 auf 40 Mitarbeitende wachsen. «Das beschäftigt mich, aber es beunruhigt mich nicht», sagt er gelassen. Er hat schon viele Herausforderungen im Laufe seiner Karriere gemeistert, die ihn in ganz unterschiedliche Branchen geführt hat: Kernforschung, Finanzwesen und Energiehandel.

Das Unternehmen mit Sitz in Baden im Aargau dokumentiert die unterirdische Infrastruktur von Städten und Gemeinden: Gas- und Wasserleitungen, Glasfaser, Stromleitung. Diese Daten werden konsolidiert, visualisiert und analysiert. «Unser Ziel ist es, die versteckten Informationen herauszuholen», erklärt Aubert. Zum Beispiel, um Lecks zu untersuchen, die Wartung zu planen und vor allem, um auf zukünftige Bedürfnisse wie die Entwicklung von Fernwärmenetzen vorbereitet zu sein. Das Unternehmen gehört fünf Energiewerken des Kantons Aargau und wird ab 2021 mit 40 Mitarbeitenden selbstständig. Dadurch möchte es flexibler werden und seine Dienstleistungen über die Kantonsgrenze hinaus anbieten.

Die Umwelt retten und Deutsch lernen

Cédric Aubert scheint diese Herausforderung zu schätzen. «Ich mag komplexe Probleme», sagt er. «Das ist der Physiker in mir.» Ob es um Daten aus

einem Kernreaktor, der Börse oder einer Landkarte gehe, er nähere sich ihnen auf die gleiche Weise. «Komplexität muss man zunächst akzeptieren, wenn man sie verstehen und vereinfachen will.» Zusätzlich geht der Ingenieur Aubert neue Aufgaben mit Zuversicht an: «Wenn ich mit einer neuen Situation konfrontiert werde, kommen keine Zweifel auf – ich weiß, dass ich es schaffen werde.»

Dieses Vertrauen hat Aubert nicht nur in sich selbst, sondern auch in andere. «Ich teste nie Menschen und ich betreibe kein Mikromanagement.» Er erkläre seinen Mitarbeitenden die zu erreichenden Ziele, gebe jedoch den Weg dorthin nicht vor, sagt er und findet: «Menschen arbeiten besser, wenn man ihnen vertraut. Ich lasse sie daher selbstständig arbeiten und wecke ihre Neugierde. In einem neuen Job sollte man nur die Hälfte der benötigten Fähigkeiten mitbringen und die fehlende Hälfte vor Ort lernen.»

Ursprünglich aus dem Kanton Waadt, bleibt Aubert zum Studium in der Region und geht an die EPFL. Dort beschäftigt er sich mit der Kernfusion. Die verspricht, so sagt Aubert, «die Umwelt mit einem Glas Wasser zu retten», also aus vergleichsweise wenig Wasserstoffatomen sehr viel Energie zu gewinnen. Er wechselt ans PSI, um zur Sicherheit von Kernanlagen beizutragen, aber auch, «um Deutsch zu lernen, was unerlässlich ist, wenn man in der Schweiz etwas erreichen will.» An der PSI-Versuchsanlage «Panda», die in einer 25 Meter hohen Halle untergebracht ist, ist Aubert an Tests für



General Electric und Siemens beteiligt. Es geht um passive Kraftwerks-Kühlsysteme, die ohne Pumpen arbeiten – Elemente, die beim Unfall von Fukushima schmerzlich vermisst wurden.

«Dieses Projekt hat mir sehr viel Selbstvertrauen gegeben», sagt der Ingenieur. «Es hat mir gezeigt, dass ich vielschichtige Aufgaben lösen kann. Und ich habe im engen Austausch unseres internationalen Teams viel gelernt.» Da er bei der Arbeit aber nur Englisch spricht, besucht er in Zürich Deutsch-Intensivkurse: sechs Stunden pro Woche. Heute lebt Aubert mit seiner Frau und seinen drei Kindern im Alter von 11, 14 und 16 Jahren in Ennetbaden bei Baden und spricht mit seiner Familie beide Sprachen. «Meine Kinder bevorzugen Deutsch und haben einen charmanten Akzent, wenn sie Französisch sprechen. Darauf bin ich sehr stolz», lächelt Aubert. Während der Corona-Beschränkungen ermutigt er sie, den Verlauf der Infektionsfälle mit Excel zu analysieren.

Sein Trick: auf Schotterwegen rennen

Im Jahr 2000 verlässt Aubert das PSI und damit nach sieben Jahren die Forschung. Er wechselt zur Swiss Re, der weltgrössten Rückversicherungsgesellschaft. «Ich habe mich damals gefragt, was noch gefährlicher sein könnte als Kernunfälle und dachte: Finanzkrisen», erzählt Aubert schmunzelnd. In die Swiss Re gelangt er durch den Quereinstieg als Computingenieur. Später wird er Mitarbeiter im Finanzrisikomanagement. Wiederum nach sieben Jahren entscheidet er sich, in die Energiebranche zurückzukehren: Beim Elektrizitätsunternehmen Axpo leitet er fortan das Risikomanagement im Energiehandel.

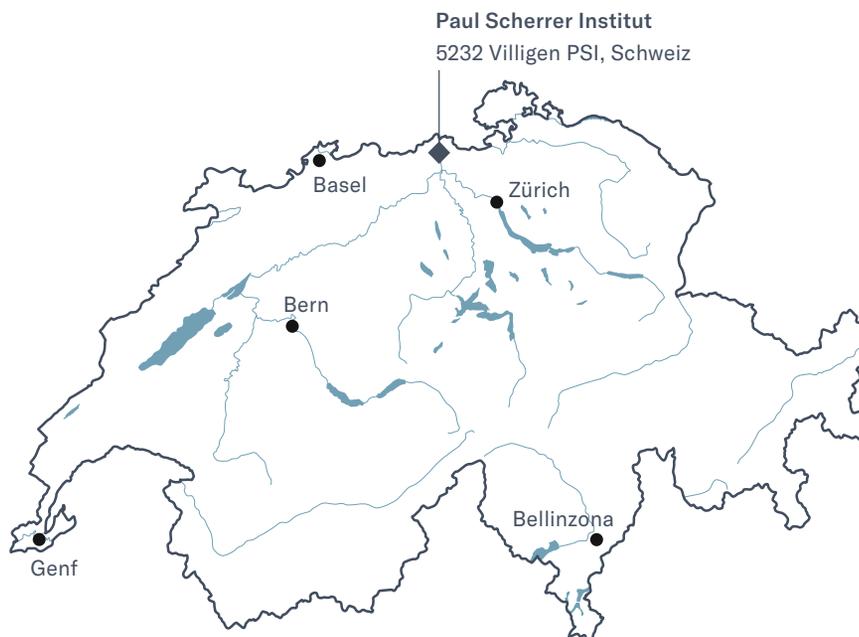
Anschliessend wird er vom Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (EWZ) angeworben, als Leiter des Geschäftsbereiches Energiewirtschaft. Hier ist Aubert zuständig für den Ein- und Verkauf von Strom an der schweizerischen und europäischen Börse, für die Marktanalyse und das Risikomanagement. Daneben ist er auch Verwaltungsratspräsident eines Windparks des EWZ, der zwölf Windkraftträder umfasst und am Col du Mollendruz liegt, einem Pass nahe dem Lac de Joux in der Waadt. «Dieses Projekt lag mir aus zwei Gründen am Herzen», so Aubert. «Ich möchte helfen, erneuerbare Energien voranzubringen. Und zudem bin ich in Pampigny aufgewachsen, einem Dorf nur 15 Kilometer vom Pass entfernt.» Erst Ende 2019 verlässt Aubert das EWZ, als die Regionalwerke AG Baden ihn anwerben, um geoProRegio zu gründen.

Seinen Ausgleich findet der Waadtländer in den Bergen: Weisshorn, Matterhorn, Mont Blanc. «Ich bereite mich das ganze Jahr über körperlich vor und mache dann jeden Sommer zwei oder drei Gipfeltouren.» Von seinem Bergführer habe er zudem eine Übung gelernt, die ihm helfe, sich in schwierigen Situationen nicht von der Angst lähmen zu lassen: «Ich renne bergab auf Schotterwegen. Dabei ist es unmöglich, den eigenen Lauf komplett zu kontrollieren, man muss sich gehen lassen. Und man erlebt, dass man auch ohne vollständige Kontrolle heil durchkommt. Diese Übung hilft mir viel mehr als alles, was ich in Managementkursen gelernt habe.»

Die Karriere von Aubert ist erstaunlich vielfältig und hat doch einen roten Faden: Energie. Er hat in der Produktion und im Handel gearbeitet und ist jetzt im Bereich Energieverteilung tätig. Nun entwickelt er Methoden für die Verwaltung geografischer Daten und die Analyse von Infrastrukturen. «Das sind Aspekte, die zunehmend wichtig werden, wenn mehr und mehr erneuerbare Energie dezentral produziert wird.» Sein beruflicher Ehrgeiz ist klar. Er will in der Energiebranche komplexe Probleme angehen. Und auch ein konkretes persönliches Ziel nennt er: «Ich möchte eines Tages mit meinen Kindern auf das Matterhorn.» ♦

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 3/2020 (September 2020)
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,
Monika Gimmel, Christian Heid,
Dr. Laura Hennemann, Sebastian Jutzi (Ltg.), Dr. Brigitte Osterath

Design und Art Direction
Studio HübnerBraun

Fotos
Scanderbeg Sauer Photography,
ausser: Seiten 26/27: Shutterstock;
Seite 38: Paul Scherrer Institut/
Markus Fischer.

Grafiken
Christoph Frei,
ausser: Seiten 6/7: Daniela Leitner;
Seite 30 (MRT): Paul Scherrer
Institut; Seite 38: geoProRegio;
Seite 41: Adobe Stock.

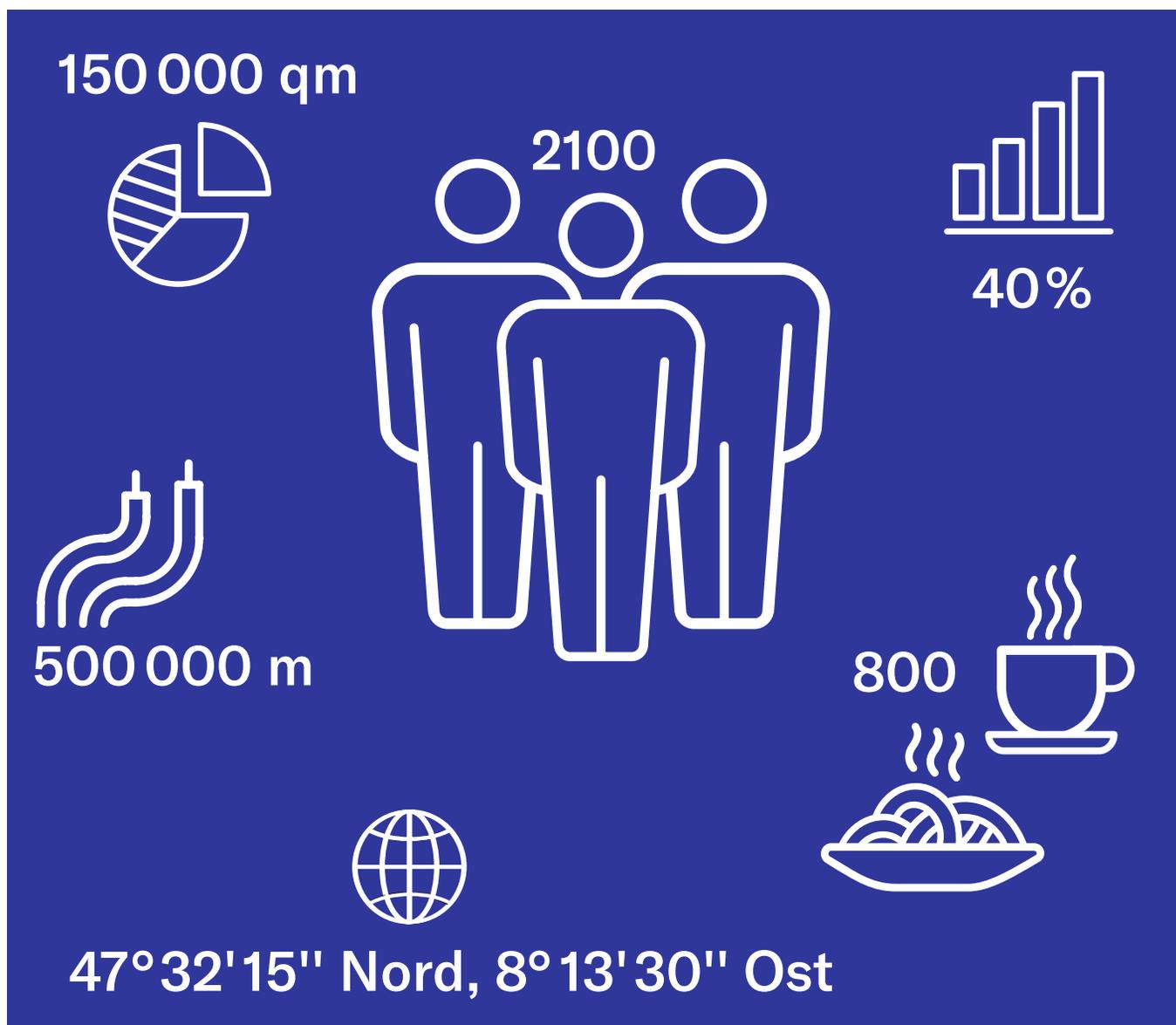
Mehr über das PSI lesen Sie auf:
www.psi.ch

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

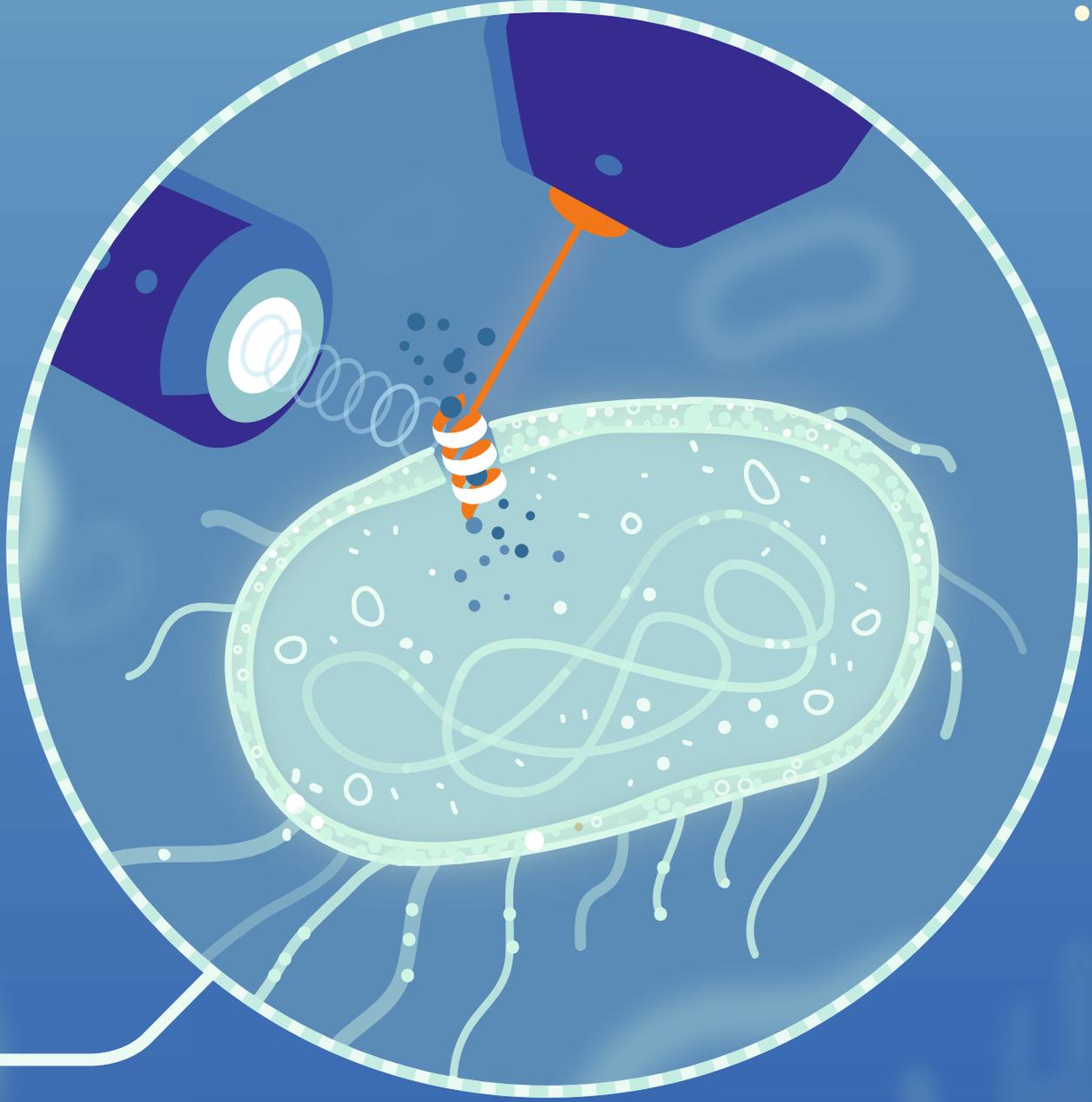
5232 ist auch auf Französisch erhältlich:
www.psi.ch/5232/
le-magazine-5232

PAUL SCHERRER INSTITUT

Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

5232 ist die Postleitzahl des PSI – und darum der Name dieses Magazins. Aber natürlich ist das nicht die einzige Zahl, die das PSI definiert. In 130 Gebäuden arbeiten hier rund 2100 Menschen. Knapp 40 Prozent der Mitarbeitenden sind Forschende. Diese führen jedes Jahr rund 1900 Experimente durch. Zum Beispiel, um das Proton zu vermessen – einen 0,000 000 084 184 Millimeter kleinen Baustein der Atomkerne. Ganz andere Grössenordnungen erreicht dagegen die Strecke der Kupferkabel, die am PSI verlegt wurden: 500 000 Meter weit würden sie aneinandergereiht reichen. Die Glasfaserkabel sind mit insgesamt 600 000 Metern noch ein wenig länger. Übrigens werden jährlich 41 000 Stunden für die Gebäudereinigung aufgewendet – schliesslich müssen 150 000 Quadratmeter Fläche sauber gehalten werden. Kurz: Rund um 47° 32' 15" Nord, 8° 13' 30" Ost gibt es einige überraschende Zahlen zu entdecken.



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