

SCHWERPUNKTTHEMA

WISSENSCHAFT MIT EIS UND WOLKEN

Das Magazin des Paul Scherrer Instituts

02 / 2019

203205





HINTERGRUND

An frischer Luft und im Smog

PSI-Forschende tragen dazu bei, globale Fragen zum Klimawandel zu klären und die Luftverschmutzung einzudämmen.

Seite 10

INFOGRAFIK

Ein schwimmendes Labor

Um Wasser, Eis und Luft der Arktis zu untersuchen, führen vierzig Wissenschaftler im Sommer 2018 auf dem Eisbrecher «Oden» an den Nordpol. Zwei Atmosphärenforschende des PSI waren mit an Bord.

Seite 16



REPORTAGE

Forschen über den Wolken

Auf der Forschungsstation Jungfrauoch müssen PSI-Wissenschaftler damit klarkommen, dass der menschliche Körper nicht für ein Leben auf 3500 Meter über dem Meer gemacht ist.

Seite 18

INHALT

NACHGEFRAGT	
Was machen Sie da, Herr Strässle?	4
DAS PRODUKT	
Smartphones	6
DAS HELFERLEIN	
Heizplatte	7
SCHWERPUNKTTHEMA:	
WISSENSCHAFT MIT EIS UND WOLKEN	8
HINTERGRUND	
An frischer Luft und im Smog	10
INFOGRAFIK	
Ein schwimmendes Labor	16
REPORTAGE	
Forschen über den Wolken	18
IM BILD	
Rasmus Ischebeck	21
IN DER SCHWEIZ	
Eine Hand wie keine zweite	22
Am PSI blicken Konservatorinnen ins Innere eines Sensationsfonds aus der Bronzezeit.	
IN KÜRZE	
Aktuelles aus der PSI-Forschung	26
1 Proteine im SwissFEL-Strahl	
2 Mit bewegter Linse	
3 Batterie-Antrieb spart Treibhausgase	
4 Vermessung von Weltraum-Blitzen	
GALERIE	
Glühend heiss und eiskalt	28
PSI-Forschende arbeiten mit einem chinesischen Kohleofen, einer Wolkenkammer oder einem Smog-Mobil für die Umwelt.	
ZUR PERSON	
In der Proteinkristallfabrik	34
Florence Pojer präpariert ihre Proben in Lausanne, durchleuchtet sie dann aber an der SLS des PSI.	
WIR ÜBER UNS	38
IMPRESSUM	40
AUSBLICK	41

Herr Strässle, das PSI hat mehrere schweizweit einmalige Grossforschungsanlagen. Warum sind dann Expeditionen an andere Orte nötig?

1

Das PSI erforscht auch die Auswirkungen der Energiegewinnung und -nutzung auf unsere Umwelt und da draussen beschaffen wir uns Proben, die wir hinterher hier am PSI untersuchen. Wir nutzen beispielsweise das Röntgenlicht der SLS, um herauszufinden, wie sich Gase und Feinstaubpartikel in Schnee und Eis verhalten. Das ist deshalb wichtig, weil sie die Lichtabsorption und -reflexion von Gletschern und Schelfeis beeinflussen. Mit den Erkenntnissen können Klimamodelle verbessert werden, die unsere Politiker als Grundlage für Massnahmen zum Klimaschutz benötigen.

Trägt das PSI eigentlich auch dazu bei, die Wettervorhersage treffgenauer zu machen?

2

Mittelbar auf jeden Fall, auch wenn wir uns nicht mit der Wettervorhersage für den nächsten Tag beschäftigen. Wenn wir das Klima und seine Entwicklung erforschen, also die langfristigen Abläufe in der Atmosphäre, lernen wir auch etwas über das regionale Wettergeschehen beziehungsweise können besser einschätzen, wie es sich entwickeln wird. Das ist nur eine von vielen praktischen Auswirkungen unserer Umweltforschung. Ein anderes Beispiel ist die Untersuchung von Verunreinigungen der Luft. Das machen wir sowohl vor Ort als auch im Labor.

Forschende des PSI untersuchen die Umwelt auf der ganzen Erde, unter anderem auch in den Polarregionen. Was haben diese abgelegenen Regionen mit unserer Umwelt zu tun?

3

Wir konzentrieren uns bei der Umweltforschung auf Vorgänge im Zusammenhang mit der Atmosphäre. Diese ist von der Energiegewinnung und -nutzung eigentlich immer betroffen. In den Polargebieten finden unsere Forschenden teilweise noch sehr saubere Luft, die derjenigen aus der vorindustriellen Zeit sehr ähnlich ist. Damit schaffen wir also Referenzwerte und können die mit den Werten aus Luft an anderen Orten der Erde vergleichen. Ausserdem ermitteln wir aus der chemischen Zusammensetzung die Beiträge verschiedener Quellen zur Feinstaubbelastung. So können wir viel besser beurteilen, welche Veränderungen in der Atmosphäre tatsächlich auf menschliche Tätigkeiten zurückzuführen sind und welche nicht. Das Wissen darüber hilft unserer Gesellschaft, richtige Entscheidungen in Sachen Luftreinhaltung zu treffen.

Was machen Sie da, Herr Strässle?

Warum erklimmen manche PSI-Forschende Gletscher, reisen in die Arktis oder in Smog-geplagte indische Metropolen? Thierry Strässle, Direktor ad interim, erklärt, welchen Stellenwert die Umweltforschung am Paul Scherrer Institut hat.

NACHGEFRAGT



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

Smartphones

Eine Front- und eine Rückkamera, dazu einige optische Sensoren, beispielsweise zur Helligkeitsmessung und Gesichtserkennung: Ein aktuelles Smartphone hat mehrere optische Systeme und diese wiederum haben optische Linsen, um Licht für den jeweiligen Zweck zu bündeln. Diese Linsen sind – wie alles am Smartphone – platzsparend konstruiert: Ihr Durchmesser beträgt wenige Millimeter.

Dennoch erfüllen sie die gleiche Funktion wie die optischen Linsen eines klassischen Fotoapparats. Diese sind idealerweise so glatt, dass die Rauigkeit ihrer Oberfläche nur noch aus dem Höhenunterschied weniger Atome besteht.

Das ist auch der Anspruch an Smartphone-Linsen. Die bestehen allerdings nicht aus Glas, sondern aus speziellen Kunststoffen. Die Gussformen dafür werden mittels Lithografie hergestellt: Fokussierte Lichtstrahlen formen das Material und lassen die benötigten Kuhlen entstehen. Im Laborversuch ist es PSI-Forschenden gelungen, einen Schritt in diesem Herstellungsverfahren noch weiter zu verbessern, sodass sich auch Smartphone-Linsen bis fast zur Ebene der Atome glatt bekommen liessen.

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

Heizplatte

Bei der Herstellung der winzigen optischen Linsen für Smartphones kommen Gussformen zum Einsatz. Weisen diese bereits eine zu raue Oberfläche auf, dann überträgt sich das auch auf die Linsen. Zu raue Linsen liefern wiederum eine mindere Bildqualität von Selfies und Co.

Dieses Problem sind PSI-Forschende angegangen. Die kleinen Gussformen werden zunächst mithilfe komplexer Techniken wie der sogenannten Zwei-Photonen-Lithografie hergestellt. Dabei entstehen zwar perfekt geformte, jedoch noch zu raue Kehlen. Um nun deren Oberfläche zu glätten, erhitzen die PSI-Forschenden das Material gerade so, dass die oberste Schicht schmolz und sich dadurch selbst glättete.

Nach einigen Versuchen zeigte sich: Gewöhnliche elektrische Heizplatten, wie sie sich zum Beispiel in Bürorüchen finden, waren für dieses Experiment ein einfaches und erstaunlich effizientes Mittel.



Wissenschaft mit Eis und Wolken

Sie forschen für die Umwelt: PSI-Wissenschaftler untersuchen im Eis von hochalpinen Gletschern Spurenstoffe, die die Natur über die vergangenen Jahrtausende darin archiviert hat. Sie vermessen den Smog der Grossstädte. Und sie untersuchen in den Polarregionen die Prozesse, die Wolken entstehen lassen. Ihre Forschung hilft, Klimavorhersagen zu verbessern und Luftverschmutzung zu reduzieren.

1

HINTERGRUND

An frischer Luft und
im Smog

Seite 10



2

INFOGRAFIK

Ein schwimmendes Labor

Seite 16

3

REPORTAGE

Forschen über den Wolken

Seite 18



An frischer Luft und im Smog

PSI-Forschende bohren im Hochgebirge durch jahrtausendealtes Gletschereis und analysieren im indischen Delhi die weltweit höchsten Feinstaubkonzentrationen. Sie tragen dazu bei, globale Fragen zum Klimawandel zu klären und die Luftverschmutzung einzudämmen.

Text: Barbara Vonarburg

IN DEN ALPEN

Koordinaten: 45°55'N 7°52'O

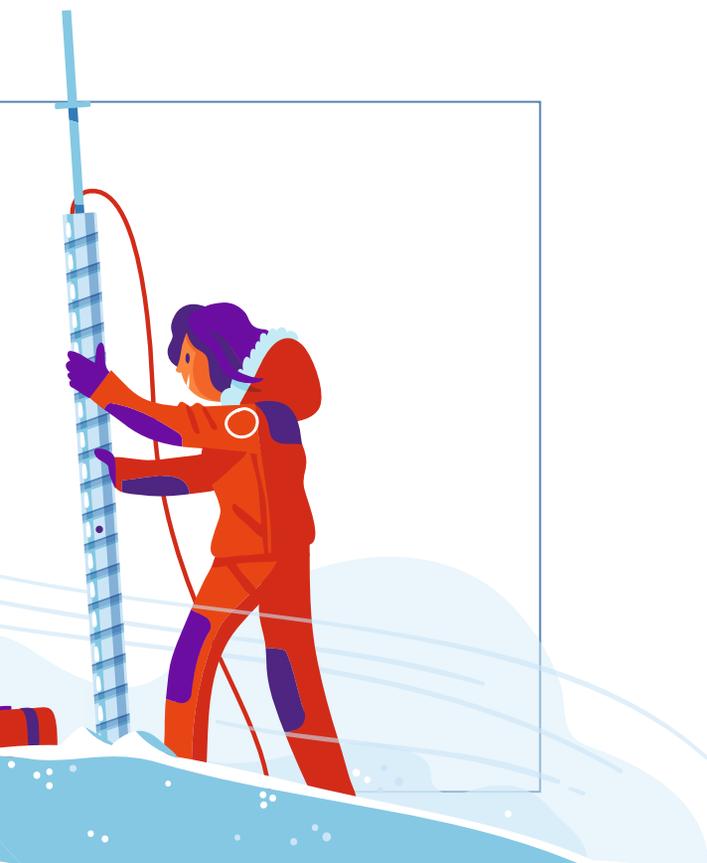
Am Colle Gnifetti, einem Gletschersattel südöstlich von Zermatt, schlugen PSI-Forschende ihr Camp auf, um aus dem Gletscher Eisbohrkerne zu entnehmen.



«Ja, unsere Forschung ist sehr abenteuerlich», gibt Margit Schwikowski zu. Die PSI-Forscherin reist mit ihrem Team und einer Tonne Material zu hoch gelegenen Gletschern überall auf der Welt, um aus dem Eis Bohrkerne zu entnehmen. Das jahrhundertalte Gletschereis gibt Aufschluss darüber, was in der Vergangenheit auf der Erde passiert ist. 2018 verbrachte die Leiterin des Labors für Umweltchemie zwei Wochen auf dem 4100 Meter hoch gelegenen Belucha-Gletscher im Altai-Gebirge in Sibirien. «Wir waren sechs Personen aus der Schweiz – drei Frauen und drei Männer – sowie zwei Angehörige des russischen Rettungsdienstes», erzählt die Expeditionsleiterin.

Dem Team gelang es, mit seiner Bohrausrüstung bis ganz hinunter zum Felsbett vorzudringen und einen 160 Meter langen Eiskern zu entnehmen. Das Gletschereis stellt ein natürliches Archiv dar, da sich mit jedem Schneefall auch Schwebstaubpartikel ablagern. Je tiefer man bohrt, desto weiter blickt man in die Vergangenheit. «Ich vermute, dieser neue Eisbohrkern lässt uns bis zu 10000 Jahre zurückblicken», sagt Schwikowski. «Gerade das tief liegende Eis ist durch den Druck und die Zeit sehr ausgedünnt – da liegen die Ablagerungen von Jahrhunderten wenige Zentimeter übereinander.»

Zur Altersbestimmung benutzen die Forschenden am PSI im Eis vorhandene, organische Schwebstaubpartikel und wenden darauf die sogenannte Radiokohlenstoffdatierung an, die sonst vor allem in der Archäologie und Paläontologie eingesetzt



Margit Schwikowski und ihre Arbeitsgruppe verwahren ihre Eisbohrkerne in der Kühlkammer des PSI.

wird. Dabei kommen sie mit winzigen Mengen Kohlenstoff aus. «Wir haben diese Methode für die Eisdatierung entwickelt und sind nach wie vor weltweit die einzigen, die das können», sagt die Chemikerin stolz. «Deshalb erhalten wir Eisproben aus aller Welt.»

Bereits 2001 hatte die Forschungsgruppe auf dem Belucha-Gletscher einen kürzeren Eiskern entnommen, der immerhin 750 Jahre zurückreicht und eine Fülle von Resultaten lieferte. Anhand der Zusammensetzung der Wassermoleküle konnten die Forschenden den Zeitverlauf der regionalen Temperatur rekonstruieren. Sie zeigten – übereinstimmend mit globalen Studien zur Klimaerwärmung –, dass sich die Schwankungen in der vorindustriellen Zeit durch die unterschiedliche Sonnenaktivität erklären lassen, nicht aber der starke Temperaturanstieg nach 1850.

Silber für Katharina die Grosse

Neben den Klima-Informationen ermöglicht das Eis weitere historische Einblicke: So konnten die Forschenden im Eis des Belucha nachweisen, dass ab 1770 Schadstoffe durch die Silbergewinnung in die Atmosphäre gelangt waren. Zu jener Zeit regierte Katharina die Grosse über Russland. Das im sibirischen Altai-Gebiet gewonnene Silber diente zur Herstellung russischer Münzen.

Inzwischen ist das Eis der Bohrung von 2001 fast aufgebraucht und die Forschenden freuen sich auf das neue Material. Der acht Zentimeter dicke



Packen für die Forschungs Expeditionen:
Julia Schmale untersucht in den Polarregionen
die Entstehung von Wolken.

Eiskern wurde in je siebenzig Zentimeter langen Stücken auf fünfzehn Isolierkisten verteilt. Per Helikopter, Kühllastwagen und Flugzeug kam das Eis in die Schweiz. «Dabei mussten wir aufpassen, dass ja nichts am Zoll hängenbleibt», erzählt Schwikowski von der kostbaren Fracht. «Für mich als Spurenanalytikerin ist Eis ein Supermaterial», schwärmt sie. «Doch jetzt verschwinden die Gletscher dramatisch und damit auch unser Forschungsobjekt.» Deshalb beteiligt sich Schwikowski an einer von der Unesco unterstützten Initiative mit dem Namen «Ice Memory». Eisbohrkerne von hochalpinen Gletschern aus aller Welt sollen in der Antarktis eingelagert und so für künftige Generationen erhalten werden.

Eisoberfläche im Röntgenlicht

Auch in der Forschungsgruppe für Oberflächenchemie – ebenfalls angesiedelt bei Schwikowski im Labor für Umweltchemie – bilden Eis und Schnee einen Forschungsgegenstand. Genauer geht es um die chemischen und physikalischen Eigenschaften der obersten Kristallschichten auf Eis. Mithilfe des Röntgenlichts der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS am PSI bestimmen die Forschenden die Struktur und Zusammensetzung in den obersten zehn Nanometer (millionstel Millimeter) von Eisoberflächen. Das Team will unter anderem herausfinden, wie sich Gase und Feinstaub im Eis einlagern, was wiederum für die Analyse von Eisbohrkernen relevant ist. Wichtig ist zudem, wie diese Stoffe das klimarelevante Rückstrahlvermögen der Schneeoberfläche und chemische Reaktionen in der Atmo-

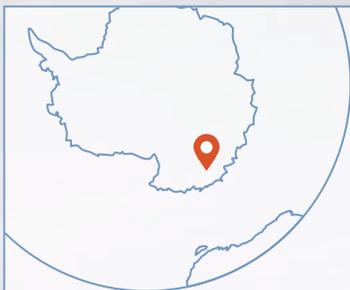
sphäre beeinflussen. «Unsere Ergebnisse fliessen in Datenbanken, welche die eigentliche Wissensbasis bilden, auf der die Klimamodelle beruhen», erklärt der Forschungsgruppenleiter Markus Ammann.

Aerosole beeinflussen das Klima

Welche Auswirkungen haben die Schwebstoffpartikel, auch Aerosole oder Feinstaub genannt, auf das Klima und unsere Gesundheit? Dies untersuchen auch die Forschenden am PSI-Labor für Atmosphärenchemie. «Aerosole beeinflussen auf verschiedene Arten das Klima», so Laborleiter Urs Baltensperger. Die Partikel haben viele verschiedene Ursprünge; sowohl Russpartikel aus der Verbrennung als auch Salzkristalle aus dem Meer zählen zu den Aerosolen. Es gibt feste und flüssige Aerosole und es gibt sie in vielen Grössen. Dementsprechend stossen sie verschiedene Prozesse in der Atmosphäre an: Manche absorbieren Sonnenlicht, erhitzen sich dadurch und tragen so zur Erwärmung der Atmosphäre bei. Andere streuen das Licht zurück ins All, haben also einen kühlenden Effekt. Zudem bilden sich an Aerosolpartikeln Wolkentröpfchen. «Je mehr Aerosole, desto mehr und weissere Wolken», sagt Baltensperger. Auch Wolken kühlen das Klima, da sie die Sonnenstrahlung abschirmen.

Um die Auswirkung der natürlichen Aerosole auf die Wolkenbildung ganz ohne die Effekte des menschengemachten Feinstaubes zu untersuchen, müssen Forschende an entsprechend abgelegene Orte reisen. «Komplett saubere Luft finden wir heute eigentlich nur noch in den Polarregionen», sagt Julia Schmale, Forschungsgruppenleiterin für Molekulare Cluster- und Partikelprozesse im Labor von Urs Baltensperger. Sie und ihre Mitarbeitenden nehmen daher an internationalen Expeditionen teil: Vor gut zwei Jahren umrundeten sie mit einem Eisbrecher den antarktischen Kontinent; das an der EPFL angesiedelte Swiss Polar Institute hatte diese Expedition organisiert. Im Sommer 2018 dagegen ging es für Schmale und einen Kollegen in die Arktis, wo sich etliche Forschungsgruppen ein Schiff als «schwimmendes Labor» teilten (siehe Infografik Seite 16–17).





IN DER ANTARKTIS

Koordinaten: 67°30'S 144°45'O

Mit einem Forschungsschiff umrundeten PSI-Forscher den antarktischen Kontinent und untersuchten Aerosole in einer Luft, die frei von menschengemachtem Feinstaub ist.





IN INDIEN

Koordinaten: 28°39'N 77°14'O

In Delhi untersuchten PSI-Forschende die Luftqualität und massen die hohe Feinstaub-Konzentration im Smog der Grosstadt.



Urs Baltensperger erforscht mit der Smogkammer des PSI, was mit Abgasen in der Atmosphäre geschieht.

Neben den Auswirkungen der Aerosole untersuchen andere Forschende in Baltenspergers Labor auch die Herkunft der Schwebeteilchen. Etwa die Hälfte stammt von sogenannten primären Quellen, sei es von Verbrennungsmotoren oder aus der Natur. Russ, Pneumtrieb, Mineralstaub oder Meersalz gehören dazu. Die andere Hälfte wird erst in der Atmosphäre gebildet, indem bestimmte Gase chemische Verbindungen eingehen. In diesem Zusammenhang sorgten 2016 drei Publikationen, an denen Baltenspergers Arbeitsgruppe wesentlich beteiligt war, für Aufsehen: Die Forschenden zeigten, dass zu einem erheblichen Teil auch organische Verbindungen aus der Natur neue Aerosole in der Atmosphäre entstehen lassen. «Wir haben herausgefunden, dass die Duftstoffe, die aus Wäldern aufsteigen, unter anderem mit dem Ozon in der Luft reagieren und so neue Aerosole bilden», erklärt Baltensperger.

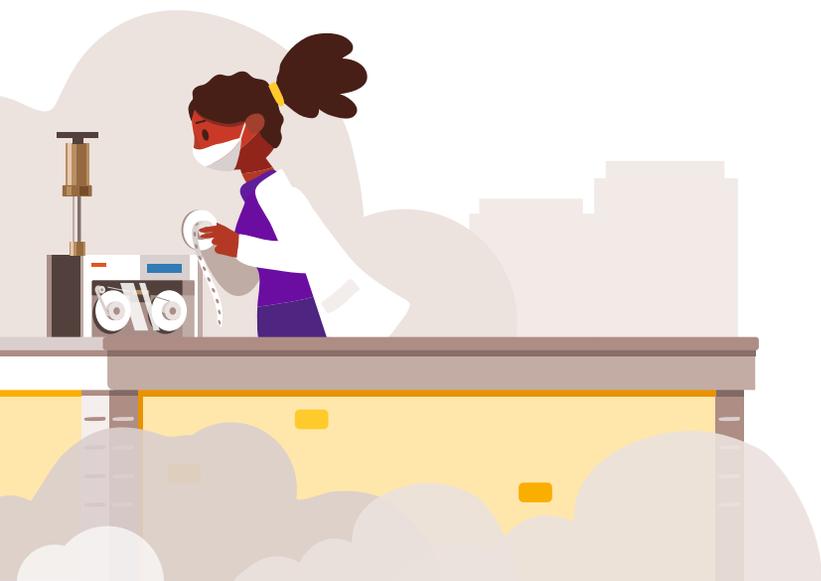
Die Versuche wurden in der speziell konstruierten, sogenannten CLOUD-Kammer am CERN in Genf durchgeführt. Messungen auf dem Jungfraujoch (siehe ab Seite 18) bestätigten, dass dieser Prozess ebenso in der Natur stattfindet. «Seither ist klar: Dieser Beitrag muss in den Klimamodellen berücksichtigt werden», sagt Baltensperger.

Doch nicht nur für das Klima spielen Aerosole eine wichtige Rolle – Feinstaub hat auch beträchtliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Jährlich sterben weltweit sieben Millionen Menschen vorzeitig an den Folgen verschmutzter Luft. Deshalb untersuchen André Prévôt und seine Forschungsgruppe zurzeit die Luftqualität im indischen Delhi. Dort messen sie zwanzig bis dreissig Mal höhere Konzentrationen von Schadstoffen als in der Schweiz – vornehmlich aus menschlichen Quellen. Mit ihren Geräten und Analysen können Prévôt und sein Team aufdecken, welche Quellen und Prozesse wie viel Feinstaub produzieren und welche Massnahmen daher die Situation verbessern können.

Chinesischer Ofen in der Smogkammer

«Wir haben die Verantwortung, unser Wissen zur Verbesserung der Lebensqualität auf der ganzen Erde einzusetzen, und ich würde ein grosses, persönliches Ziel erreichen, wenn unsere Resultate dazu beitragen könnten, die Luftqualität in Indien zu verbessern», sagt Prévôt. In China ist dies bereits gelungen. Die PSI-Forschenden konnten zeigen, dass der Smog in Peking zu einem wesentlichen Teil aus sekundär gebildetem Feinstaub besteht, zu dem auch weit entfernte Quellen beitragen. Neben Messungen vor Ort führte die Gruppe dazu auch Experimente in der Smogkammer am PSI durch. «Wir importierten einen chinesischen Ofen (siehe Seite 28) samt Kohle und untersuchten, was mit den Abgasen in der Atmosphäre passiert», erklärt der Atmosphärenwissenschaftler. Diese Erkenntnisse trugen dazu bei, dass die Regierung in Peking Kohleheizungen in der Stadt verbot und viele Betriebe im Umkreis von fünfhundert Kilometer schloss. Dies führte zu einem Rückgang der Schadstoffkonzentrationen von bis zu fünfundzwanzig Prozent in nur fünf Jahren.

Für ihre Smogmessungen bauten die Forschenden ein mobiles Labor (siehe Seite 30), in dem sie die Zusammensetzung des Feinstaubes vor Ort analysieren können. Inzwischen haben sie ein neues Gerät entwickelt, mit dem sich unter anderem Reaktionen verfolgen lassen, die in den Feinstaubteilchen ablaufen und Auswirkungen auf die Gesundheit haben können. «Dies eröffnet uns ein komplexes Forschungsfeld mit neuen, hochrelevanten Fragestellungen», sagt Urs Baltensperger. «Das macht Spass und ist für uns Forschende sehr befriedigend.» ♦



Ein schwimmendes Labor

Sommer am Nordpol: Im August und September 2018 war das schwedische Forschungsschiff «Oden» an einer grossen Eisscholle vertäut. Vierzig Wissenschaftler führten sowohl auf dem Eis als auch an Bord verschiedenste Forschungsprojekte durch. Im «Schweizer Container», natürlich rot mit weissem Kreuz, untersuchten die beiden PSI-Forschenden Julia Schmale und Andrea Baccarini die Aerosole der Arktis. Diese natürlichen luftgetragenen Schwebestoffe entstehen unter anderem aufgrund der im Wasser und Eis lebenden Mikroorganismen. Die aufsteigenden Aerosole führen zur Bildung von Wolken und spielen dadurch eine entscheidende Rolle für das Klima der Erde. So hilft dieses Forschungsprojekt, den menschengemachten Klimawandel besser zu verstehen.



1 Eisscholle, etwa so gross wie 300 Fussballfelder und bis zu 6 Meter dick. Die Eisscholle sollte einerseits mächtig genug sein, um die ganze Ausrüstung zu tragen und andererseits dünn genug, damit sie für das **16** Unterwasserfahrzeug und die **19** Eiskerne durchbohrt werden kann.
2 Anker

3 Tiefsee-Sonde: Sammelt in bis zu 1000 Meter Tiefe Wasserproben, unter anderem zur Untersuchung von Mikroorganismen.
4 Helikopterdeck: Von hier aus wird der Wetter-Messluftballon vier Mal täglich in die Höhe gelassen, er sendet dabei meteorologische Daten aus bis zu 25 Kilometer Höhe.
5 Schiffsbrücke und Dienstraum des Meteorologen

6 Besprechungsraum
7 PSI-Forschungscontainer mit Luft-Ansauger
8 Schlafräume
9 Radar und Lidar: Wolken-Radar und Partikel-Laserradar zur Fernmessung atmosphärischer Daten, beispielsweise der Höhe der Wolken.
10 Nasslabor: Hier werden Meeresproben analysiert sowie Eisbohrkerne geschmolzen und untersucht.



11 Aufenthaltsraum «Odenplan»

12 Kantine: Der Raum für die Mahlzeiten sowie um 8.15 Uhr das tägliche Briefing des Meteorologen.

13 Meteorologischer Mast

14 Gangway: Wird nachts hochgezogen, damit sich kein Eisbär aufs Schiff verirrt. Jeden Morgen um 6 Uhr läuft zudem die offizielle Eisbär-Wächterin eine Kontrollrunde über die Eisscholle.

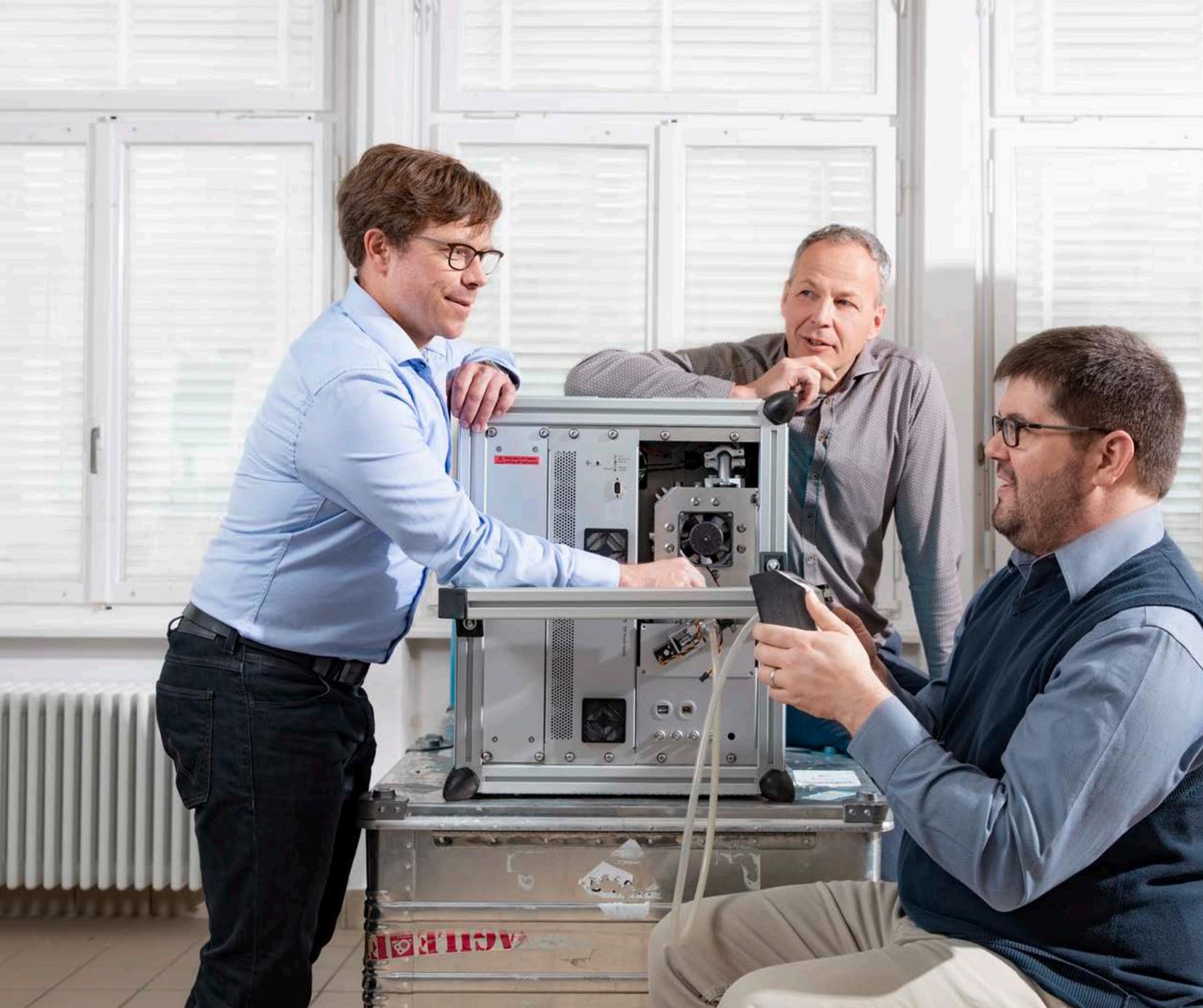
15 Freizeitbereich

16 Unterwasserfahrzeug: Ein Kuppelzelt schützt ein in die Eisscholle gebohrtes Loch, durch das regelmässig ein ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug ins Wasser gelassen wird. Es sammelt Daten darüber, wieviel Licht durch die Scholle scheint und wo sich Kolonien von Mikroorganismen bilden.

17 Verankerter Messballon: Wird mehrmals am Tag an einer 1,5 Kilometer langen Leine in die Höhe gelassen, sammelt unter anderem Daten über Aerosole.

18 Zwischen den Eisschollen wird vermessen, wie viel Meersalz in die Luft aufsteigt.

19 Eisbohrkerne werden aus der Scholle entnommen, um sie an Bord der «Oden» zu untersuchen.



Forschen über den Wolken

Am Jungfraujoch untersuchen PSI-Wissenschaftler Feinstaubpartikel. Und müssen damit klarkommen, dass der menschliche Körper nicht für ein Leben auf 3500 Meter über dem Meer gemacht ist.

Text: Joel Bedetti

Martin Gysel, Günther Wehrle und Benjamin Brem (von links) halten an der Forschungsstation Jungfrauoch unter anderem eine Langzeitmessreihe zu Aerosolpartikeln am Laufen.

Auf den letzten neun Kilometer, die die Bahn durch einen Felstunnel steil bergauf fährt, wird der Kopf leicht. Der sinkende Luftdruck lässt die Schläfen pochen. Martin Gysel schmunzelt. «Auch Leuten, die nicht zum ersten Mal hochfahren, wird hier oft noch übel.»

Zum Glück ist dies schon der Endspurt zum Jungfrauoch, rund 3500 Meter hoch gelegen zwischen Mönch und Jungfrau in den Berner Alpen. Neben Gysel, Leiter der Forschungsgruppe für Aerosolphysik am Paul Scherrer Institut, sitzen der Techniker Günther Wehrle sowie der Umweltingenieur Benjamin Brem. Ausser ihnen befinden sich noch etliche Touristen in der Jungfrauobahn: Rund eine Million Menschen besuchen jährlich das Jungfrauoch.

Schliesslich kommen die Waggon mit einem kleinen Ruck zum Halt. Europas höchstgelegene Bahnstation ist erreicht. Die Touristen steigen aus und strömen zur Aussichtsplattform oder in den Eispalast: ein ins Gletschereis gehauener Rundgang aus Gängen und Hallen.

Gysel, Wehrle und Brem dagegen schnappen sich ihre Rucksäcke und gehen zu einer unscheinbaren Gittertür. Dahinter beginnt ein nicht öffentlicher Bereich: Die hochalpine Forschungsstation Jungfrauoch, die 1931, rund zwanzig Jahre nach Eröffnung der Jungfrauobahn, in Betrieb genommen wurde. Benjamin Brem, Neuzugang in der Forschungsgruppe von Martin Gysel, ist heute zum ersten Mal hier. Er soll den entlegensten Aussenposten des PSI kennenlernen, denn er wird von nun an für das zentrale Projekt in Gysels Gruppe am Jungfrauoch zuständig sein: die Langzeitmessreihe zu Aerosolpartikeln.

Aerosole, besser bekannt als Feinstaub, sind neben CO₂ und Methan ein weiterer Faktor der menschengemachten Klimaveränderung. Doch während die beiden Gase grundsätzlich zur Erwärmung des Klimas führen, sind die Auswirkungen der Aerosole komplexer und teilweise sogar gegenläufig. «Wegen der vielfältigen Eigenschaften der Aerosole ergibt sich hier noch die grösste Unsicherheit der Klimavorhersagen. Darum braucht es gerade hier noch viel Forschung», sagt Gysel.

Zunächst gehen die drei Forschenden in den Wohnbereich der Station. Wissenschaftler aus ganz

Europa und Lokführer der Jungfrauobahn übernachten oft hier – bis zu dreizehn Personen lassen sich zeitgleich beherbergen. Das Forschungslabor der Station, die von einer internationalen Stiftung betrieben wird, liegt im Sphinx-Observatorium, dem höchstgelegenen Gebäude am Jungfrauoch, das mit seiner Kuppel und Aussichtsterrasse das Wahrzeichen der Bergstation bildet. Hier forschen auch Wissenschaftler der Empa und der Uni Bern. Mit ihnen arbeiten die PSI-Forschenden regelmässig wissenschaftlich zusammen.

Im Maschinenraum

Der Weg vom Wohnbereich zur Sphinx führt mitten durchs Territorium der Touristen. Als dieses durchschritten ist und Gysel eine weitere Gittertür öffnet, will ein neugieriger Besucher mit ausgezogenem Selfiestick mit hinein. «Sorry, only for scientists», sagt Gysel. Ein Fahrstuhl bringt das Forschertrio hoch in die Spitze der Sphinx. Während eine Etage unter ihnen die Touristen Fotos vom Alpenpanorama schießen, T-Shirts oder teure Uhren kaufen, machen sich die drei Forscher an die Arbeit.

«Jacken ausziehen», empfiehlt Techniker Wehrle. Trotz Minustemperaturen vor den Fenstern fühlt es sich hier im Forschungsbereich an wie in einem Maschinenraum: Dutzende Messgeräte und Computer brummen vor sich hin, es ist warm und laut. Deshalb reden die drei auch nur das Nötigste, während sie Geräte überprüfen und einige neu kalibrieren.

Der menschliche Körper ist nicht für Arbeit auf 3500 Meter über dem Meer konzipiert. Schon das Treppensteigen erschöpft. Die Konzentration lässt schnell nach. Viele kennen die Geschichte eines Übernachtungsgastes auf der Station, der eines Abends Spaghetti zubereiten wollte. Erst als alle





«Ruf im Zweifelsfall im PSI an. Die haben da unten mehr Sauerstoff im Hirn.»

Günther Wehrle, Techniker am Labor für Atmosphärenchemie, PSI

hungrig am Tisch sassen, realisierte er, dass er lediglich Wasser gekocht hatte. Und Wehrle weiss aus eigener Erfahrung: «Manchmal grübelst du eine halbe Stunde über einem Problem, das normalerweise in einer Minute gelöst wäre», sagt der Techniker.

«Habt ihr einen Tipp, wie man das verhindert?», fragt Brem, der bis vor Kurzem auf 440 Meter Höhe gearbeitet hat: bei der Eidgenössischen Materialprüfungsanstalt Empa in Dübendorf. Wehrle zuckt die Schultern. «Mach eins nach dem anderen», rät er. «Und ruf im Zweifelsfall im PSI an. Die haben da unten mehr Sauerstoff im Hirn.»

Forschen in der Troposphäre

Während die beiden ein Messgerät kalibrieren, nimmt Gysel eine Palette mit kleinen Filtern hervor, mit denen Atmosphärenforschende Aerosole einsammeln. Der Filter vom Jungfrauoch ist leicht beige, jener aus der Stadt pechschwarz. «Die Konzentration etwa von Russpartikeln ist in einer Stadt teilweise um den Faktor tausend grösser», sagt Gysel.

Dank seiner Höhe lässt sich am Jungfrauoch sehr gut erforschen, wie sich die kurzlebigen Partikel auf dem Weg von der Erdoberfläche in die höheren Schichten der Atmosphäre verändern und

dort schliesslich die Wolkenbildung beeinflussen. Benjamin Brem hat deshalb eine verantwortungsvolle Aufgabe übernommen: Die PSI-Messreihe zu Aerosolpartikeln findet seit über zwanzig Jahren im Verbund mit weiteren dreissig Messstationen weltweit statt. «Damit erhalten wir einzigartige, weil grossflächige Einblicke in die Abläufe in der Atmosphäre und können bessere Grundlagen für die Klimaforschung liefern», sagt Gysel.

Längere Aufenthalte in der Forschungsstation und der dünnen Luft bleiben den Forschenden aber zunehmend erspart. Dank der Automatisierung lassen sich die Messinstrumente grossteils vom PSI in Villigen aus kontrollieren, kleine Störungen behebt einer der Betriebswarte der Forschungsstation. Die PSI-Forschenden reisen nur noch für komplexere Arbeiten an, etwa um die Instrumente für eine spezifische Fragestellung neu einzurichten.

Kurz nach neun Uhr am Abend ihres ersten Tages auf dem Jungfrauoch kehren Brem und Wehrle schliesslich nach unten in den Wohnbereich zurück. Dort sitzt bereits Martin Gysel am Laptop und schreibt den Wartungsbericht.

Benjamin Brem ist mit der dünnen Luft besser zurechtgekommen als manch anderer vor ihm. «Nur den hier» – lächelnd tippt er auf den Kugelschreiber in der Brusttasche seines Karohemds – «habe ich den ganzen Tag gesucht.» ♦



Rasmus Ischebeck

Präzision ist alles im Berufsleben von Rasmus Ischebeck. Der Physiker stellt Messinstrumente für den SwissFEL des PSI her, einen von weltweit fünf Freie-Elektronen-Röntgenlasern. Damit kontrolliert er vor allem die Dichte von Elektronenbündeln, die in der Anlage beschleunigt werden. Diese Dichte bestimmt, ob das Röntgenlicht, das die Elektronen abgeben, alle gewünschten Qualitäten aufweist und somit die Experimente erfolgreich verlaufen. Die Elektronen erreichen im SwissFEL nahezu Lichtgeschwindigkeit. Logisch, dass bei diesem Tempo höchste Präzision gefordert ist.



Eine Hand wie keine zweite

Eine 3500 Jahre alte Bronzeplastik wird an der Neutronenquelle SINQ des PSI vermessen. Damit können Restauratoren einen einzigartigen Blick ins Innere des Sensationsfundes werfen – und Erkenntnisse über dessen Verarbeitung gewinnen.

Text: Joel Bedetti

Geschützt durch Styroporkissen, verpackt in einer luft- und temperaturisolierten Box, transportiert im gepolsterten Laderaum eines Autos kommt sie an einem Montag im Oktober ans PSI: Die aus Bronze gefertigte Skulptur einer Hand mit einem Goldbelag, geschätzt 3500 Jahre alt. Zwei Hobbyarchäologen hatten sie im Herbst 2017 im Berner Jura ausgegraben.

Nun bringen Sabine Brechbühl und Carole Schneider vom Archäologischen Dienst des Kantons Bern das historische Objekt ans Paul Scherrer Institut. Am Eingang der Neutronenquelle SINQ des PSI begrüsst sie der PSI-Forscher David Mannes. Dann werden drei Kisten vorsichtig durch den engen Flur zur SINQ-Messstation NEUTRA getragen: Neben der Hand und deren abgebrochenen Fingern sollen an der Neutronenanlage auch eine Gewandnadel und ein Dolch vom selben Fundort durchleuchtet werden.

An NEUTRA untersucht Mannes, der Forstwissenschaft studiert hat und über seine Dissertation in Neutronenvermessung ans PSI gelangte, üblicherweise Stoffe und Prozesse aus Industrie und Grundlagenforschung: Batterien, Brennstoffzellen oder Gefrierprozesse. Vor einigen Jahren haben aber auch Archäologen die Neutronenradiografie entdeckt. Weltweit gibt es hierfür rund ein Dutzend Anlagen, neben der SINQ sind es in Europa nur vier weitere.

Metalle sind für Neutronen beinahe durchsichtig. «Dagegen zeigen sich Wasserstoffatome in der Neutronenbildgebung besonders deutlich. Teile, die Wasserstoff enthalten, also beispielsweise organisches Material oder Metallkorrosion, lassen sich darum sehr gut erkennen», erklärt Mannes. Vor einigen Monaten durchleuchtete er mit Neutronen eine Buddha-Statue aus dem 15. Jahrhundert. Das resultierende Bild zeigte im Inneren verborgene Holzstücke und getrocknete Blumen.

Vielleicht bringt auch die Vermessung der Bronzehand Unerwartetes zutage. Denn eine so frühe Nachbildung eines menschlichen Körperteils ist Archäologen auch anderthalb Jahre nach ihrem Fund noch ein Rätsel. «Sie passt nicht in die Zeit», sagt Sabine Brechbühl, «das macht den Fund so sensationell.» Das klassische Röntgen im archäologischen Dienst Bern brachte nur ein undeutliches Bild. «Wenn wir jetzt mit Neutronen die Struktur der Hand durchleuchten, können wir hoffentlich sehen, wie sie verarbeitet wurde», sagt Brechbühl. Besonders gespannt ist sie auf einen Klebstoff, den sie beim Reinigen der Hand an deren Goldbelag entdeckt hat. «Es muss sich um ein Naturharz handeln.» Doch wenn die Konservatorinnen Pech haben, ist die Messung zu Ende, bevor sie begonnen hat.

Denn zuerst wird David Mannes die Bronzehand zehn Sekunden lang testweise mit dem Neutronenstrahl belichten. Danach lässt sich ermitteln, ob manche der Atome, aus denen das Objekt besteht, durch Neutronen radioaktiv werden. «Wenn da drin viel Silber ist, könnte es heikel werden», sagt Mannes, «Kobalt wäre noch schwieriger.» Würde man dann wie geplant eine Rundumtomografie mit 375 Bildern machen, müsste die Hand im Tresor der SINQ bleiben, bis die radioaktive Strahlung abgeklungen ist. Eine römische Büste aus der Ausgrabungsstätte in Avenches musste deshalb mehrere Monate in der SINQ lagern. Ganz klar: So lange möchte die Restauratorin Brechbühl nicht auf die Bronzehand verzichten.

Die Halbwertszeit entscheidet

Brechbühl zieht sich Laborhandschuhe an und umwickelt die Skulptur vorsichtig mit Aluminiumfolie, um sie gegen die Partikel des Blumenschaums zu schützen, der wiederum die Bronzehand in einem Zylinderbehälter polstert. Das Angebot des inzwischen hinzugestossenen PSI-Technikers Jan Hovind, den Zylinder in die Messstation zu tragen, lehnt sie ab. Als Leiterin des Fachbereichs metallische Objekte vom Archäologischen Dienst Bern ist sie für den Gegenstand verantwortlich. An antiken Fundstücken gebe es oft fragile Stellen, erklärt Brechbühl. «Da bricht schnell was weg.» Es ist auch eine Sache der Perspektive: Für Brechbühl ist die Hand ein unersetzlicher Fund – für Hovind und Mannes dagegen ist sie Projektnummer 20182293. «Man spricht verschiedene Sprachen», gesteht Mannes. Doch mit der Zeit lernen beide Seiten, die jeweils andere Sprache wenigstens zu verstehen. In manchen Jahren untersucht Mannes ein Dutzend historische Objekte, er weiss daher mittlerweile einiges über historische Materialien. Handkehrum sind viele Konservatoren inzwischen mit der Methode der Neutronenradiografie vertraut.

An der Messstation NEUTRA übernimmt nun die PSI-Equipe. Mannes sitzt an einem Computer ausserhalb der Experimentierzone, die durch dicke

«Wenn wir mit Neutronen die Hand durchleuchten, können wir hoffentlich sehen, wie sie verarbeitet wurde.»

Sabine Brechbühl, Leiterin Fachbereich metallische Objekte, Archäologischer Dienst des Kantons Bern

Mit Alufolie geschützt:
Sabine Brechbühl (links) und Carole
Schneider bereiten die Bronzehand für
die Untersuchung mit Neutronen vor.



Betonmauern abgeschirmt ist, und stellt per Fernsteuerung den Kamerafokus ein. Auf seinem Bildschirm erscheint ein Standbild, das an eine Röntgenaufnahme erinnert. Dann lächelt er. «Bereit.»

Vorsichtig trägt Sabine Brechbühl den Zylinder in die Experimentierstation. Nachdem sie wieder zwischen den Betonmauern herausgetreten ist, schliesst Mannes die Tür zur Zone ab. Bald darauf erscheint ein erstes Durchleuchtungsbild der Bronzehand auf dem Bildschirm: Ein Umriss mit Schattierungen – an manchen Stellen heller, an anderen dunkel. Letzteres könne auf Korrosion hindeuten, sagt Mannes. Doch wichtig ist jetzt erst einmal, was der Strahlenschutz dazu sagt.

Als kleine Prozession durchqueren Mannes, Schneider und Brechbühl mit dem Zylinder die Halle der SINQ bis zum Raum des Strahlenschutzes, wo Marco Müller im weissen Labormantel wartet. «Das kann jetzt ein paar Minuten dauern», sagt Müller, nachdem Brechbühl den Zylinder in der betonierten Strahlkammer deponiert hat. Doch schon Sekunden später schlagen blaue Linien auf seinem Bildschirm aus: Die Metalle, deren Strahlung das Messgerät entdeckt. «Gallium», erkennt der Strahlenschützer Müller. Am Periodensystem an der Rückwand liest er die Halbwertszeit ab: Alle neun Stunden halbiert sich die Strahlungsintensität – ein vergleichsweise geringer Wert und damit kein Pro-

blem. Auch das Mangan und Kupfer gehen in Ordnung, ebenso der dünne Belag aus Gold. Müller nickt. «In drei Wochen solltet ihr die Hand wieder mitnehmen dürfen.»

Aus einem Guss?

Nach einer kurzen Sandwich-Pause kommt die Hand wieder in die Strahlkammer, am nächsten Tag werden dann die Finger sowie die Gewandnadel drankommen. Inzwischen hat Brechbühl Vertrauen gefasst: David Mannes darf den Zylinder selbst tragen.

Am Ende hält das Resultat der Neutronentomografie eine Überraschung für Sabine Brechbühl bereit: «Es sieht danach aus, als wäre die Hand aus einem Guss gemacht», erzählt sie einige Tage später am Telefon. «Das wäre für diese Epoche erstaunlich.»

Eine kleine Enttäuschung ist jedoch auch dabei: Vom Klebstoff ist auf den Neutronenbildern nichts zu sehen. «Entweder wurde er nur an den Rändern genutzt», sagt Brechbühl, «oder vielleicht hat sich das organische Material schon zersetzt. Das wissen wir nicht.» Die 3500 Jahre alte Bronzehand hütet vorerst noch einige ihrer Geheimnisse. ◆

Aktuelles aus der PSI-Forschung

1 Proteine im SwissFEL-Strahl

Am Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL, der neuen Grossforschungsanlage des PSI, wurden zum ersten Mal erfolgreich zeitaufgelöste Messungen an lichtempfindlichen Proteinen durchgeführt, die unter anderem in der Netzhaut des Auges eine entscheidende Rolle spielen. Röntgenlaser wie der SwissFEL produzieren ultrakurze, nur einige milliardstel Sekunden dauernde Röntgenlichtpulse. Damit lassen sich die extrem schnellen Änderungen der Proteinstruktur messen. Das geglückte Experiment zeigt, dass der SwissFEL nun für Forschende aus aller Welt voll einsatzfähig ist. Die Wissenschaftler am PSI entwickeln nun ihre Methoden dahingehend weiter, dass sich auch Strukturänderungen solcher Proteine vermessen lassen, die nicht von Natur aus auf Licht reagieren.

2 Mit bewegter Linse

Röntgenstrahlen ermöglichen einzigartige Einblicke in das Innere von Materialien, Gewebe und Zellen. Forschende des PSI haben eine neue Methode entwickelt, dank der die Röntgenbilder von Materialien noch besser werden: Die Auflösung ist höher und erlaubt präzisere Rückschlüsse auf Materialeigenschaften. Die Forschenden bewegen dazu eine optische Linse und nehmen dabei etliche Einzelbilder auf, aus denen sie mithilfe von Computeralgorithmen die eigentliche Aufnahme errechnen. Damit haben sie erstmalig das Prinzip der sogenannten Fourier-Ptychografie auf Messungen mit Röntgenlicht übertragen.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/Ku2g>

1600 spezielle Kunststoffstäbe fingen im Detektor POLAR die Strahlung von Gammablitzen ein. Das Messgerät flog an Bord der chinesischen Raumstation Tiangong 2 ins All.

In den Daten fanden sich **5** optimal aufgenommene Gammablitze. Diese werteten die Forschenden genau aus.

Jeden Datensatz verglichen sie mit **6060** verschiedenen Simulationskurven, um den Polarisationsgrad und die Polarisationsrichtung jedes Gammablitzes zu bestimmen.

4 Vermessung von Weltraum-Blitzen

Im September 2016 flog ein am PSI entwickelter Detektor namens POLAR an Bord der chinesischen Raumstation Tiangong 2 in den Orbit der Erde. Dort nahm POLAR sogenannte Gammablitze auf (siehe Hintergrundbild). Gammablitze sind Ausbrüche extrem energiereichen Lichtes, die in grosser Ferne im Universum aufleuchten. Womöglich werden sie bei der Entstehung Schwarzer Löcher ausgesandt. Um Gammablitze besser zu verstehen, vermass POLAR eine bestimmte Eigenschaft ihrer Strahlung: die sogenannte Polarisation. Die nun ausgewerteten Daten von POLAR zeigen, dass Gammablitze einen eher niedrigen Polarisationsgrad besitzen und sich ihre Polarisationsrichtung ändern kann. Demnach können nun diejenigen Theorien zu Gammablitzen, die von einem hohen und gleichbleibenden Polarisationsgrad ausgehen, als weniger wahrscheinlich gelten. POLAR wurde gemeinsam mit Forschenden der Universität Genf sowie mit Wissenschaftlern in China und Polen realisiert.

Weitere Informationen:
<http://psi.ch/fD1P>

3 Batterie-Antrieb spart Treibhausgase

Ausschliesslich mit einer Batterie betriebene Pkw bieten das grösste Einsparpotenzial an Treibhausgasen. Das ist das Ergebnis einer Studie, die Forschende des Labors für Energiesystemanalysen am PSI gemeinsam mit niederländischen Kollegen durchgeführt haben. Dabei analysierten sie den ökologischen Fussabdruck verschiedener Fahrzeugtypen über deren gesamten Lebenszyklus, also von der Produktion über den Gebrauch bis zur Stilllegung. Um eine Abschätzung der zukünftigen Entwicklung vorzunehmen, verglichen die Forschenden nicht nur Autos heutiger Bauart, Stand 2017, sondern auch jene, die voraussichtlich im Jahr 2040 produziert werden. Vor allem, wenn der Strom für ihren Antrieb nachhaltig produziert wird, schneiden die batteriegetriebenen Pkw im Vergleich zu allen anderen Fahrzeugtypen am besten ab.



Feurige Forschung

Was an ein apokalyptisches Szenario denken lässt, ist nur die Nahaufnahme eines Feuers in einem original chinesischen Kohleofen. Den haben PSI-Forschende aus Fernost importiert, genauso wie sechs verschiedene Sorten Kohle. Damit untersuchen sie möglichst realitätsnah, welche Folgen das Verfeuern von Steinkohle in solchen Öfen für die Atmosphäre hat.

Glühend heiss und eiskalt

GALERIE

Um die Auswirkungen der Energiegewinnung und -nutzung auf die Umwelt einzuschätzen, arbeiten PSI-Forschende mit den unterschiedlichsten Werkzeugen – vom glühend heissen Ofen bis zum Smog-Mobil oder einem Eiskernbohrer. Sie konzentrieren sich dabei auf die Abläufe in der Atmosphäre. Ihre Ergebnisse helfen, die Umwelt zu schützen.

Text: Sebastian Jutzi



Umwelt mobil

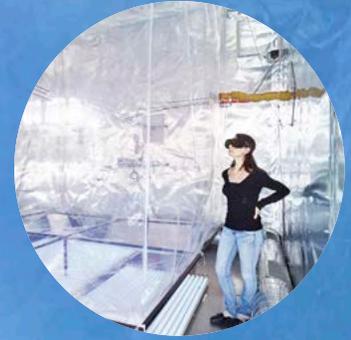
Dieser Filterstreifen liefert Nachrichten aus der Umwelt. Genauer gesagt aus der Atmosphäre. Die dunklen Punkte auf dem weissen Papier sind Ablagerungen aus der Luft, die durch die Poren des Filters gesogen wurden. Die entsprechende Apparatur ist eines von vielen Geräten, die in dem Smog-Mobil des PSI installiert werden können.





Wolkenkammer

Die Experimentieranlage CLOUD steht zwar am CERN, wird aber auch von PSI-Forschenden genutzt. Mit der etwa drei Meter hohen, tonnenförmigen Konstruktion erforschen sie die Bildung von Wolken und damit zusammenhängende Vorgänge in der Atmosphäre. Jeder Lichtpunkt, der an einen Stern erinnert, strahlt UV-Licht für reale Testbedingungen ab.



Dicke Luft

Über Sonden können Gase ins Innere der Smog-Kammer des PSI geleitet und Messwerte erfasst werden. Die Kammer schliessen dünne Kunststofffolien ab. Von unten wird der Innenraum mit UV-Licht beleuchtet, um die realen Bedingungen an bestimmten Orten – zum Beispiel in Indien oder China – nachzuahmen. Die gewonnenen Erkenntnisse helfen, die Umweltsituation zu verbessern.



Kalte Eleganz

Hier sieht man das vollständig aus Aluminium bestehende Kernrohr eines Eisbohrers, mit dessen Hilfe PSI-Forschende sogenannte Eisbohrkerne aus Gletschern entnehmen. Das Kernrohr schneidet mithilfe zweier Schneidzähne und angetrieben von einem elektrischen Motor einen Ring in das Eis. Der dabei entstehende Eiszylinder wird aus dem Inneren des Rohres entnommen und enthält wertvolle Informationen über die Atmosphäre der Vergangenheit.

In der Proteinkristallfabrik

Von Lausanne aus steuert Florence Pojer Messungen am PSI in Villigen. Mit der Herstellung und Analyse kristallisierter Proteine unterstützt sie Medikamentenforscher.

Text: Joel Bedetti

Über ihren Computer an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne EPFL steuert Florence Pojer, was 200 Kilometer entfernt passiert: An der Strahllinie 3 der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS am Paul Scherrer Institut PSI in Villigen legt ein Roboterarm eine winzige Proteinkristallprobe präzise zwischen Detektor und Röntgenstrahl. Auf ihrem Bildschirm zoomt die Forscherin das Bild heran und der Kristall erscheint in grobkörniger Nahaufnahme. Mit einem gelben Fadenkreuz bestimmt sie den Fokus. Per Mausclick beginnt die Messung: Der Röntgenstrahl der SLS trifft auf den Kristall und wird an dessen Gitterstruktur gebeugt. Der Kristall wird nun automatisch in 0,2-Grad-Schritten gedreht, sodass ein jeweils neues Beugungsbild entsteht.

Florence Pojer ist Leiterin der achtköpfigen zentralen Einrichtung Protein-Produktion und -Struktur an der Fakultät der Lebenswissenschaften der EPFL. Proteine sind ihr Alltagsgeschäft. Die genaue Kenntnis dieser vielfältigen und hochkomplexen Grundbausteine des Körpers hilft dabei, Krankheiten zu erforschen und neue Wirkstoffe zu entwickeln. Mit den Röntgenstrahlen der SLS analysiert sie die Strukturen der Proteine. Hierfür müssen diese dazu gebracht werden, sich zu gleichmässigen Kristallen zusammenzufinden. Fingerspitzengefühl, Fachkenntnis und viel Geduld sind dafür erforderlich. Polders Team bietet daher Forschenden der Hoch-

schule wie auch der benachbarten Universität Lausanne die Produktion und Analyse von Proteinen als Service an.

Zwar existieren auch andere Untersuchungsmethoden, etwa die Elektronenmikroskopie, aber die Röntgenbeugung an Proteinkristallen ist noch immer die meist verwendete Methode. Proteinkristalle sind jedoch chemisch instabil und bilden sich nur unter bestimmten Bedingungen. «Oft gelingt es erst beim hundertsten Versuch», sagt Florence Pojer. «Aber wir kennen inzwischen so manche Tricks, wie man sie stabilisieren kann.» In einem zweiten Schritt werden die Proteinkristalle dann an der SLS in Villigen vom Röntgenlaser gescannt. «Auch hier braucht es viele Anläufe, bis eine gute Auflösung gelingt», so Pojer.

Heute blickt Pojer enttäuscht auf ihren Bildschirm. «Neun Ångström. Noch schlechter als der letzte Kristall.» Ein Ångström sind hundert milliardstel Millimeter und entspricht ungefähr der Grösse eines Atoms. Das Ångström ist die Masseinheit für die Auflösung eines Beugungsbildes. Ein Ångström wäre top, zehn dagegen sind unbrauchbar. Die aktuelle Probe ist bereits die vierte in einer Serie aus über einem Dutzend Kristalle. Das betreffende Protein ist ein Kandidat für eine Antikörper-Therapie gegen Krebs.

Florence Pojer klickt an ihrem Computer auf «Sample Change». Der Roboterarm am PSI legt den





Florence Pojer bereitet Proteinkristalle für den Transport an das PSI vor. Unter dem Stereomikroskop selektiert sie einzelne Kristalle und friert sie in Flüssigstickstoff ein.

«Die SLS erfüllt unsere Anforderungen und wird hochprofessionell geführt. Bei meinen Fernexperimenten hilft auch der persönliche Kontakt vor Ort am PSI.»

Florence Pojer, Leiterin der Einrichtung Protein-Produktion und -Struktur an der EPFL



Kristall in einen der drei bereitstehenden Transportbehälter zurück und entnimmt die nächste Probe. Die 45-jährige Französin seufzt. «Vermutlich ist die ganze Serie unbrauchbar.» Auch das Beugungsbild des nächsten Antikörper-Proteins hat nur ungenügende Auflösung. Zwar warten im Behälter an der SLS noch weitere Proteine dieser Reihe, aber sie entschliesst sich vorerst, die Serie zu wechseln. Denn für ihre Messungen ist an der SLS nur ein Termin pro Monat reserviert. Jetzt kommt ein ähnliches Projekt eines Professors der Uni Lausanne an die Reihe. Dessen Forschungsgruppe hat ein künstliches Protein entwickelt, welches an Krebszellen andocken und diese zerstören soll.

Keine Lust auf die Apotheke

Kurz vor Mittag gönnt sich Florence Pojer im menschenleeren Foyer des «Sciences de la Vie»-Baus eine kurze Pause. «Es ist fast keiner da, wegen der Prüfungen», sagt sie und grinst. «Und wegen des Schnees. Die sind schon weg zum Skifahren.» Auch Pojer wird übers Wochenende mit ihren vier Kindern, mit denen sie nahe der EPFL lebt, in ihr Chalet im Wallis reisen und Skifahren. Aufgewachsen ist Florence Pojer nicht allzu weit von ihrem heutigen Wohnort – im französischen Jura, nahe der Schweizer Grenze. Ihr Vater starb, als sie ein Kind war. Ihre Mutter, eine Pharmakologin, führte eine Apotheke. Pojer studierte ebenfalls Pharmazie, gestand der Mutter aber schon bald, dass sie nicht ihre Nachfolge anstrebe.

Nach dem Pharmakologie-Studium folgte ein Master in Meeresbiologie in La Rochelle und ein Dokortitel in Tübingen – Pojer spricht neben Französisch und Englisch auch fliessend Deutsch. Für ihre Masterarbeit erforschte sie die Wirkung von Algenextrakten auf Herpes, in ihrer Doktorarbeit klärte sie die Biosynthesewege von neuen Antibiotika auf. Später, als Postdotorandin am Salk-Institut in San Diego, erlernte sie die Techniken der Kristallstrukturanalyse von Proteinen und vertiefte ihre Kenntnisse über Pflanzenproteine. Ihr damaliger Mann wurde 2007 Professor an der Universität Lausanne. Die Familie zog in die Schweiz, sie erhielt an der EPFL eine Stelle beim neu berufenen Professor Stewart Cole und half bei der Entwicklung von Medikamenten gegen Tuberkulose.

Kristalle per Kurier, Problemlösungen übers Smartphone

Ihre Expertise in der Herstellung und Analyse von kristallisierten Proteinen war inzwischen so gross, dass Kollegen sie immer wieder um Hilfe baten. Deshalb übertrug die EPFL Pojer schliesslich die Leitung

einer eigenen Gruppe, welche andere Forschende mit ihrem Fachwissen unterstützen sollte. «Diese Einrichtung ist einzigartig», sagt sie. «Dank dieser Kooperation verstehen die Forscher heute besser, wie komplex es ist, Proteinkristalle herzustellen und zu untersuchen.»

Untersuchte Pojer die Kristalle anfangs an Synchrotronquellen in ganz Europa, beschränkt sie sich seit 2011 auf die SLS. «Sie erfüllt alle Anforderungen und wird hochprofessionell geführt», erklärt Pojer. Seit 2015 kann sie nun die SLS-Experimente von Lausanne aus kontrollieren. Die Kristalle schickt sie per Kurier, die PSI-Wissenschaftler legen sie dem Roboter bereit. Trotzdem besucht Pojer das PSI alle paar Monate. «Es ist wichtig, sich mit den Kollegen vor Ort über die neuesten Entwicklungen an der SLS auszutauschen», sagt sie. Die persönlichen Kontakte helfen auch bei den Fernexperimenten. Sollte einmal etwas nicht funktionieren, lässt sich das Problem meist schnell über eine kurze Nachricht per Smartphone lösen.

Florence Pojer beendet ihre Pause und kehrt ins Büro zurück, um die Experimente an der SLS fortzuführen. In den nächsten fünf Stunden müssen noch mehrere Dutzend Kristalle gemessen werden. Kaum hat sie sich gesetzt, erscheint in der Tür ein Forscher jener Gruppe, die das neue Antikörper-Protein zur Krebstherapie entwickelt hat. Er will wissen, ob sich mit seinem Kristall eine genügend hohe Auflösung erreichen lässt. Pojer bestätigt: «Ja: 2,8 Ångström war euer bestes Ergebnis.» Wie oft in der Forschung wird sich erst noch zeigen, ob nun dieses Experiment zu einem Medikament führen wird. Einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung neuer Therapien leistet Florence Pojers Arbeit aber ganz sicher. ♦

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





Paul Scherrer Institut
5232 Villigen PSI, Schweiz

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

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 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 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 muss abge- lehnt 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

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 2/2019 (Mai 2019)
ISSN 2504-2262

Herausgeber

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

Redaktionsteam

Dagmar Baroke, Monika Blétry,
Christina Bonanati, Christian Heid,
Dr. Laura Hennemann,
Sebastian Jutzi (Ltg.)

Design und Art Direction

Studio HübnerBraun

Fotos

Scanderbeg Sauer Photography,
ausser: Cover, Seiten 2, 20, 25, 38:
Paul Scherrer Institut/Markus Fischer;
Seite 8/9: Paul Scherrer Institut/
Julia Schmale; Seite 10: Paul Scherrer
Institut/Michael Sigl; Seite 12: Paul
Scherrer Institut/Mahir Dzambegovic;
Seite 13: François Bernard; Seite 14:
shutterstock; Seiten 22/23: Archäo-
logischer Dienst des Kantons Bern/
Philippe Joner; Seiten 26/27: ESO/
L. Calçada; Seite 31: CERN; Seite 32,
kleines Bild: Paul Scherrer Institut;
Seite 35–37: Amélie Blanc.

Grafiken

Studio HübnerBraun, ausser:
Seiten 2, 10/11, 12/13, 14/15, 19:
Christoph Frei; Seiten 6/7: Daniela
Leitner; Seiten 16/17: Bror Rudi
Creative/Christoph Frei.

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

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

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

5232 ist auch auf Französisch
erhältlich

www.psi.ch/5232/le-magazine-5232

PAUL SCHERRER INSTITUT





Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

Am Paul Scherrer Institut PSI erforschen und entwickeln Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler neue Methoden, um Patienten zu heilen. So ermöglicht die Protonentherapie in schonender Art und Weise das gezielte Zerstören von Tumoren, selbst in empfindlichen Organen wie dem Auge oder dem Gehirn. Schon seit mehr als 30 Jahren profitieren Patientinnen und Patienten von der Behandlung mit Protonenstrahlen. Die Produktion von spezifischen Radionukliden für die Kliniken im Umland des PSI ist ein weiterer Schwerpunkt der klinischen Forschung am PSI. Sie hilft, Menschen individuell zu behandeln. Dabei ist der Faktor Zeit sehr wichtig, denn die Wirkstoffe müssen schnell zu den Patienten und den behandelnden Ärzten gelangen, damit sie den grösstmöglichen Behandlungserfolg erzielen. Wir stellen die PSI-Forschenden und die Einrichtungen vor, die direkt im Dienste der Gesundheit stehen.



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