

Das Magazin des Paul Scherrer Instituts PSI

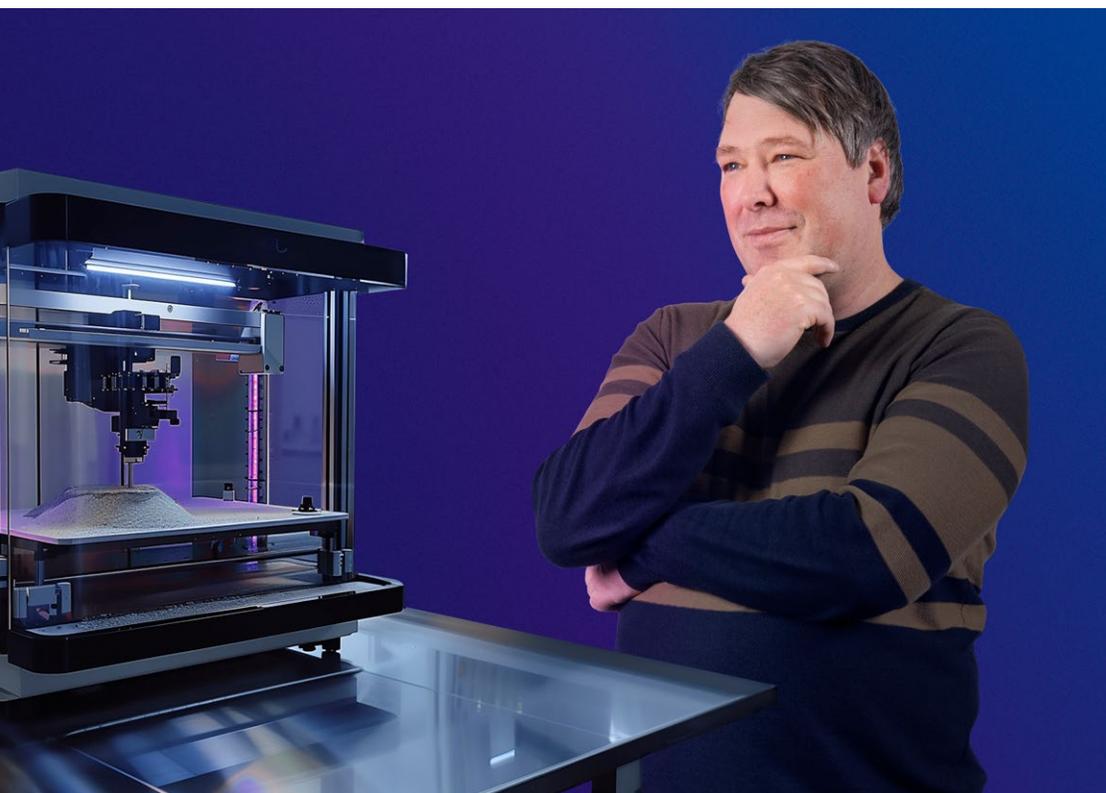
Advanced Manufacturing – die Zukunft der Fertigung

5
2
3
2

#1/2025



Schwerpunktthema: Advanced Manufacturing



Hintergrund

Schneller, präziser, zuverlässiger – die Zukunft der Produktion

«Advanced Manufacturing» bedeutet hochmoderne Fertigungsmethoden. Forschende am PSI helfen, Techniken wie den 3-D-Druck zuverlässiger zu machen und die Miniatursierung von Hochleistungschips weiter voranzutreiben.

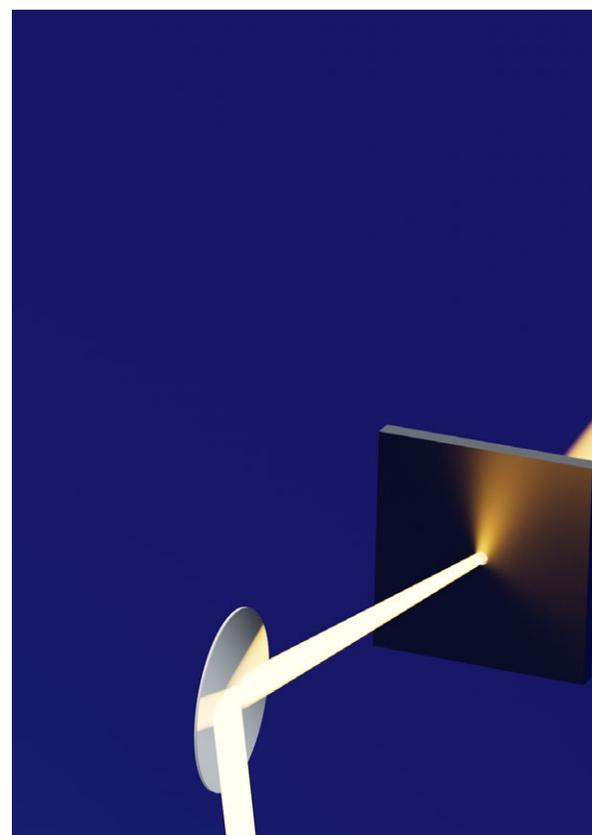
Seite 10

Infografik

Licht als Werkzeug für kleinste Strukturen

Wie Forschende am PSI feinste Strukturen in einen Fotolack schreiben und dabei einen neuen Weltrekord aufgestellt haben, zeigt eine Infografik.

Seite 16



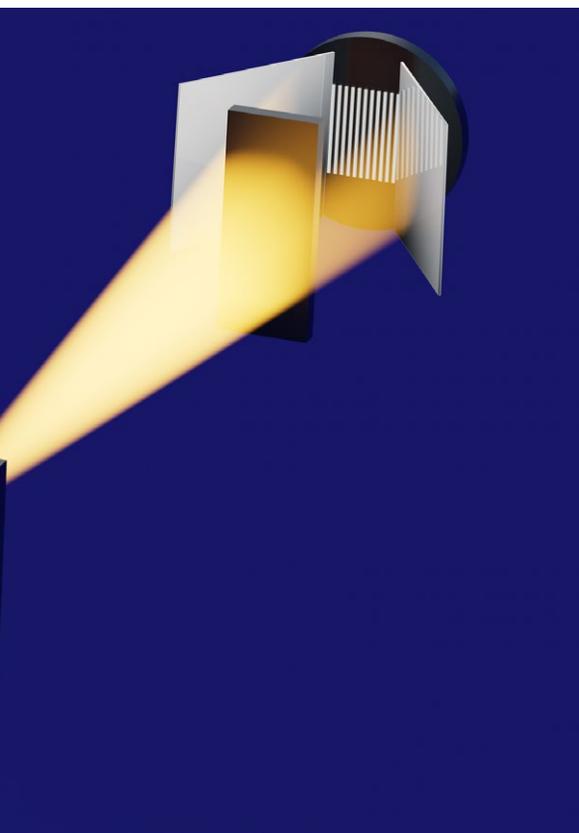


Interview

Wissenschaft trifft Industrie – Innovation mit Wirkung

Hans Priem und Cees Maris vom Unternehmen VDL ETG erzählen, was Advanced Manufacturing in der Industrie bedeutet, und sprechen über die Zusammenarbeit mit dem PSI.

Seite 18



Inhalt

Editorial	
«Advance and build things»	4
Alltag	
Gleich und doch nicht gleich	6
Forschung	
Schraubenlicht unterscheidet Spiegelbilder	7
 Schwerpunktthema	
Advanced Manufacturing	8
Hintergrund	
Schneller, präziser, zuverlässiger – die Zukunft der Produktion	10
Infografik	
Licht als Werkzeug für kleinste Strukturen	16
Interview	
Wissenschaft trifft Industrie – Innovation mit Wirkung	18
Im Bild	
Angewandetes Quanten-Wissen	21
In der Schweiz	
PSI-Forschung im meistbesuchten Museum der Schweiz	22
Die Initiative ES4T macht Energieforschung im Verkehrshaus der Schweiz erlebbar und zeigt mögliche Wege in eine nachhaltige Zukunft.	
In Kürze	
Aktuelles aus der PSI-Forschung	26
1 Pekings Smog entschlüsselt	
2 ESA in der Schweiz	
3 92 Millionen Jahre	
4 Neuer Röntgenweltrekord	
Galerie	
Kelvin: Die Skala der Kälte	28
Wabernder Stickstoff-Nebel und grünes Laserlicht – die Forschungswelt der Kälte ist fotogen.	
Zur Person	
Anwältin der Spitzentechnologie	34
Die ehemalige PSI-Doktorandin Stephanie Smit arbeitet als Patentanwältin bei ASML und schützt bahnbrechende Technologien für die Mikrochip-Industrie.	
Wir über uns	38
Impressum	40
Ausblick	41

«Advance and build things»

Die Wissenschaft ist dafür bekannt, gründlich zu arbeiten. Die Industrie sucht nach konkreten Lösungen für die Bedürfnisse der Menschen. In der Zusammenarbeit dieser beiden entstehen derzeit neuartige Fertigungstechnologien: Advanced Manufacturing. Präzisere und effizientere Produktionsmethoden sind unter anderem in der Medizintechnik, der Halbleiter- und Optikindustrie oder für die Luft- und Raumfahrt gefragt.

Am Paul Scherrer Institut PSI entwickeln wir genau hierfür innovative Analysemethoden an unseren weltweit einzigartigen Grossforschungsanlagen. Dabei halten auch unsere teilchenbeschleunigerbasierten Grossforschungsanlagen selbst mit der Zeit Schritt: Für dieses Foto stehe ich auf der Betonabdeckung des komplett neuen Elektronenspeicherrings der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. Im Zuge unseres aktuellen Upgrade-Projekts SLS 2.0 wurde dieses Kernstück der Anlage komplett neu aufgebaut, damit die SLS bald rund 40-fach brillanteres Licht für die Forschung liefern wird als zuvor.

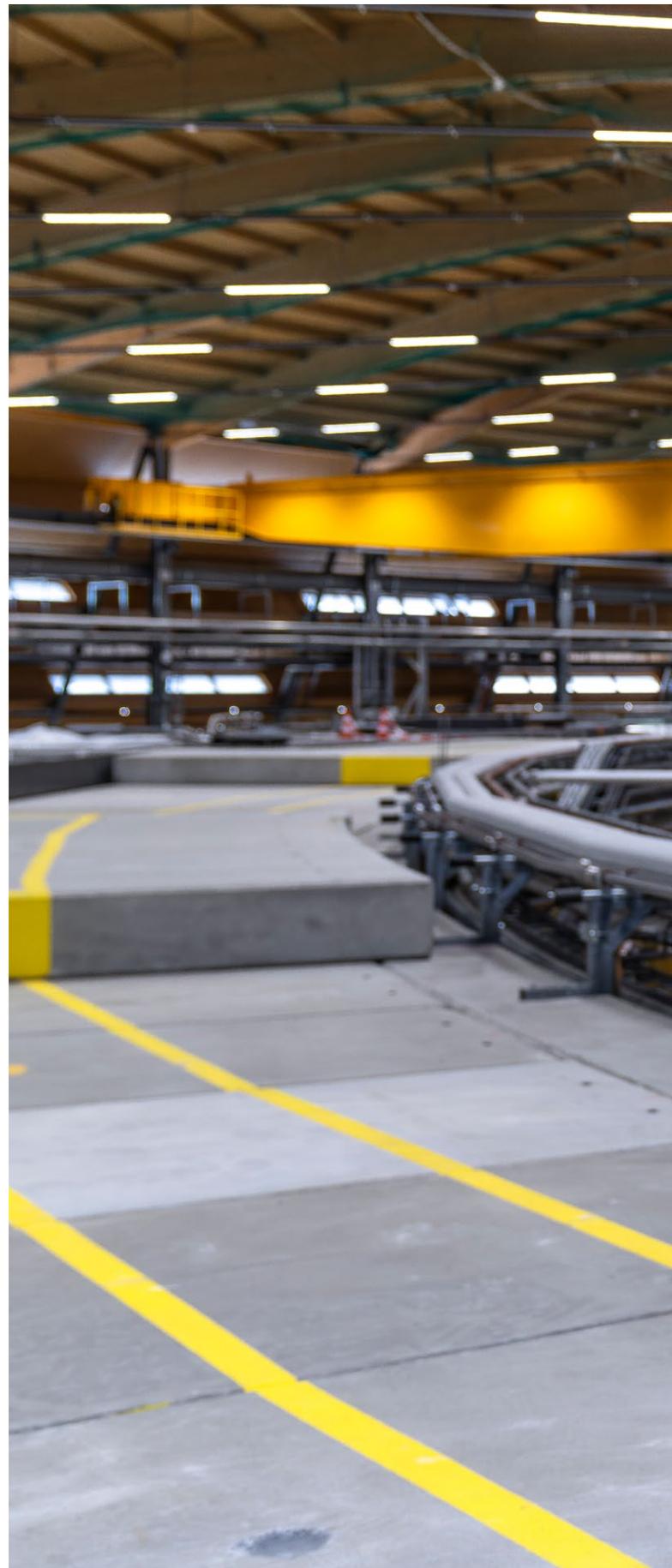
Ein bekanntes Beispiel für Advanced Manufacturing ist der 3-D-Druck. An der SLS untersuchen PSI-Forschende mit eigens konstruierten Druckern, wie sich die Mikrostruktur der Materialien während des Druckprozesses verändern – um dank dieser Erkenntnisse das Verfahren und damit die Materialeigenschaften verbessern zu können.

Eine konkrete Schnittstelle zur Industrie bietet dabei ANAXAM. Das Technologietransferzentrum stellt seine analytischen Kompetenzen Industrieunternehmen zur Verfügung, die Experimente und Messungen an den Grossforschungsanlagen des PSI durchführen möchten. Oft geht es dabei um die Optimierung von Prozessen und Produkten im Bereich Advanced Manufacturing. Wie ANAXAM unter anderem einem Unternehmen in Würenlos und einer Firma in Winterthur helfen konnte, lesen Sie in diesem Heft.

Auch der 2024 direkt neben dem PSI eröffnete Park Innovaare spielt in dieser Ausgabe eine zentrale Rolle. Er bietet Unternehmen eigene hochmoderne Labore und zudem Zugang zur Forschungsinfrastruktur des PSI. So ist das Unternehmen VDL ETG, ein langjähriger Partner des PSI, am Park Innovaare eingezogen. Daneben entwickelt das Start-up einer ehemaligen PSI-Forscherin eine neuartige Fertigungsmethode, um eine Art sensible elektronische Haut herzustellen – beispielsweise für die Fingerspitzen eines Roboters.

«Advance and build things», so könnte man diese Kooperationen zwischen dem PSI und der Industrie beschreiben. Gemeinsam schreiten wir voran und erschaffen dabei neue Dinge für die Gesellschaft von morgen.

Ihr Christian Rüegg, PSI-Direktor





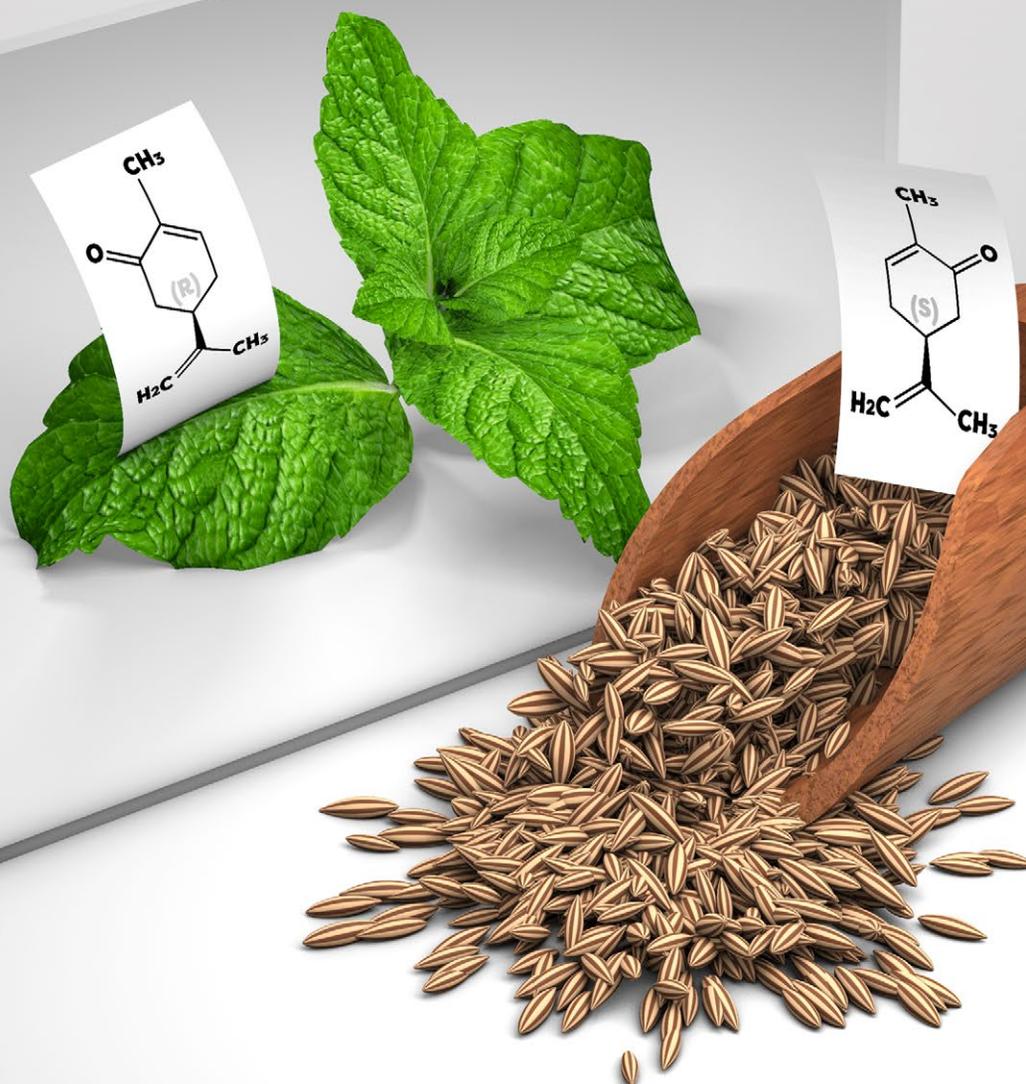
Gleich und doch nicht gleich

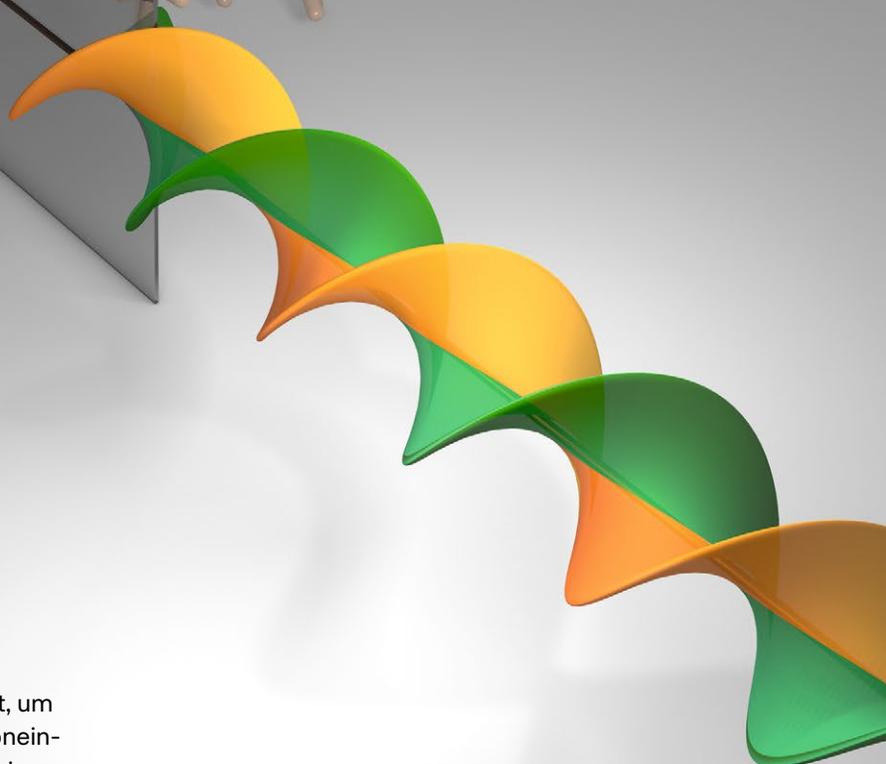
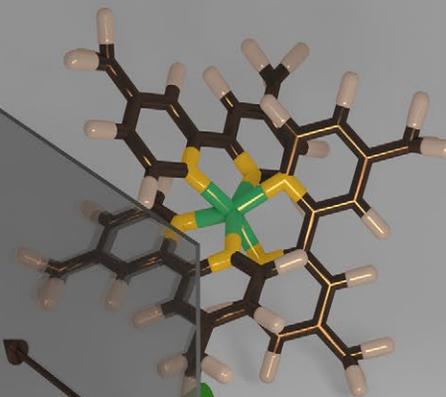
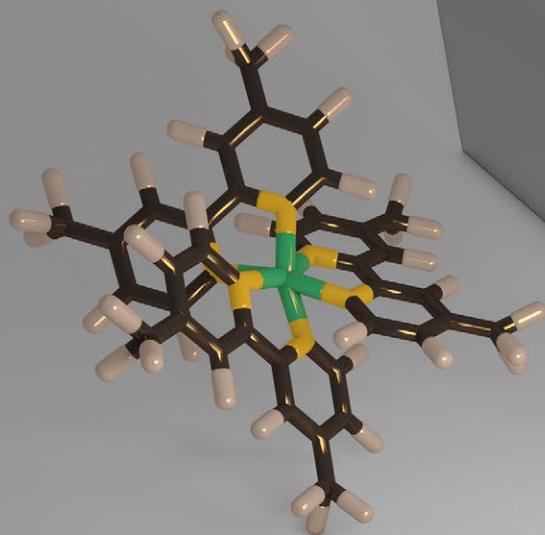
Vier Finger plus ein Daumen, fünf Fingernägel und alle Fingergelenke am festen Platz: Im Grunde sehen unsere linke und rechte Hand gleich aus. Aber egal, wie wir die beiden drehen und wenden, sie sind nicht zur Deckung zu bringen. Sie sind eben doch nicht gleich, sondern verhalten sich wie Bild und Spiegelbild.

Dasselbe Phänomen existiert auch bei Molekülen: Zwei Versionen der gleichen chemischen Verbindung besitzen zwar die gleiche Abfolge an Atomen, aber sind zueinander gespiegelt. Auf dem Papier ist der Unterschied oft schwer zu erkennen, deutlicher wird er im Dreidimensionalen.

Auch in der Chemie spricht man dann von der links- und der rechtshändigen Form eines Moleküls; oder kürzer der S- und R-Form. (S und R stehen für sinister und rectus, Lateinisch für links und rechts.) Die beiden Versionen des Moleküls heißen Enantiomere. Carvon ist ein solches Molekül, das als Bild und Spiegelbild existiert. Es zählt zu den Aromastoffen: S-Carvon findet sich in Kümmel und R-Carvon in Grüner Minze.

Dass wir eine linke und rechte Hand haben, ist uns offensichtlich. Aber auch in unserer Nase haben wir Riechrezeptoren, die eine Händigkeit haben. So können wir den Geruch bestimmter Enantiomere problemlos unterscheiden. Daher riecht S-Carvon für uns nach Kümmel, R-Carvon nach Minze.



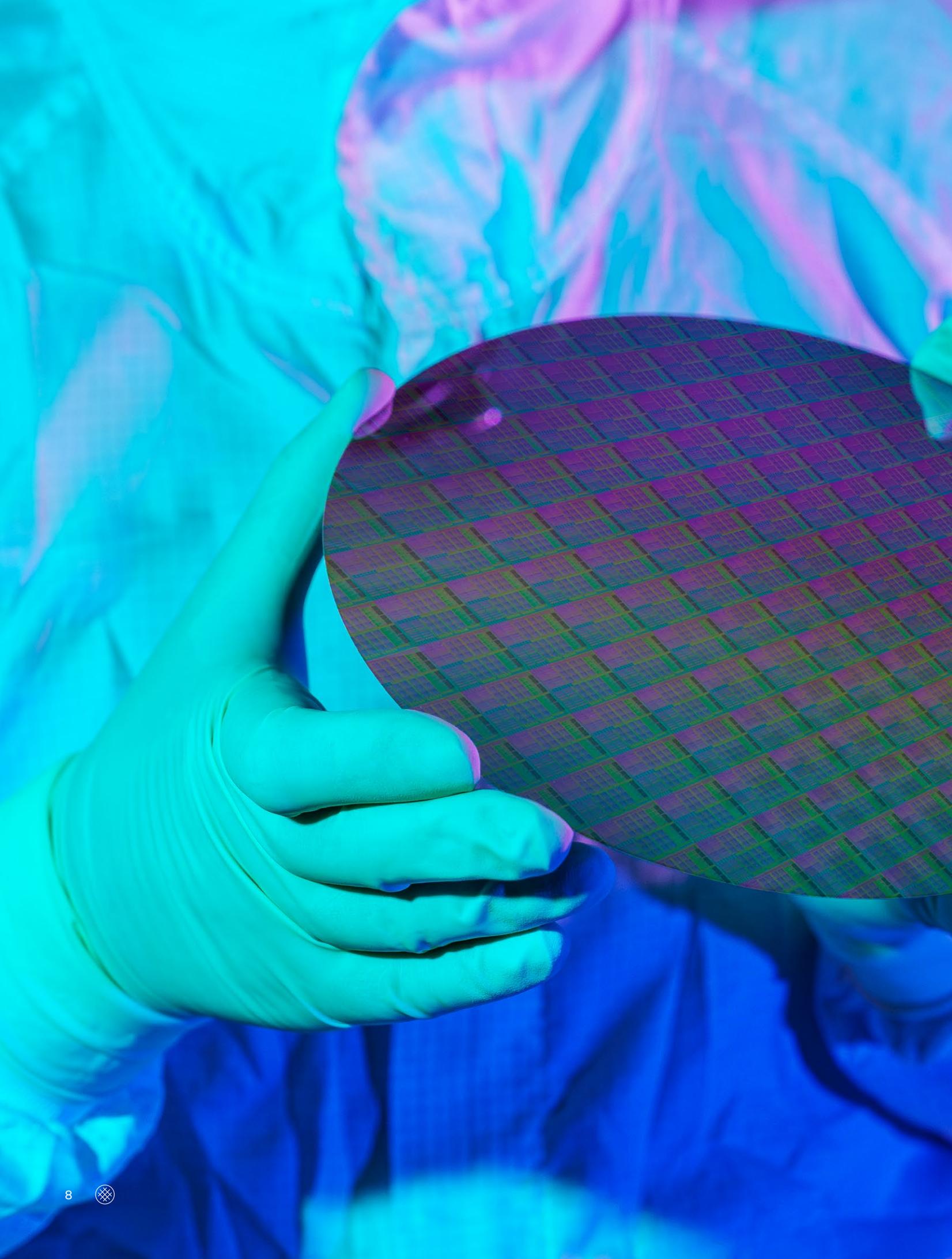


Schraubenlicht unterscheidet Spiegelbilder

Am PSI haben Forschende eine neue Methode entwickelt, um Enantiomere, also links- und rechtshändige Moleküle, voneinander zu unterscheiden. Möglich macht das schraubenförmiges Röntgenlicht.

Enantiomere entfalten oft ganz andere Wirkungen im Körper: Das eine Molekül kann als Medikament agieren, das andere ist womöglich giftig oder schädlich. Ein bekanntes Beispiel hierfür ist Thalidomid, das unter den Markennamen Contergan beziehungsweise Softenon in einem grossen Medikamenten-Skandal der 1960er-Jahre traurige Berühmtheit erlangte. Daher ist es wichtig, Bild und Spiegelbild eines Moleküls unterscheiden und trennen zu können. Das ist allerdings schwierig: Die beiden Molekülversionen stimmen in ihren chemischen Eigenschaften überein; lediglich ihre dreidimensionale Gestalt ist eine andere.

Forschende vom PSI, der ETH Lausanne EPFL und der Universität Genf schickten das Röntgenlicht der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS durch besondere Beugungslinsen, sogenannte Spiralzonenplatten. Diese krümmen die Wellenfront schraubenförmig, sodass auch das Licht selbst händisch wird. Wie sich zeigte, absorbieren Enantiomere diese Strahlung unterschiedlich stark. Die Signale lassen sich dazu nutzen, Bild und Spiegelbild auseinanderzuhalten, und waren sogar schärfer als bei der bisher gängigen Unterscheidungsmethode. Eine echte Alternative also!



Advanced Manufacturing

Computerchips sind heute unvorstellbar dicht bepackt: Bis zu 100 Milliarden Transistoren finden auf der Fläche eines Daumennagels Platz. Die Forschung hat zu hochmodernen Fertigungstechniken stets entscheidend beigetragen. So wird heute am «Advanced Manufacturing» von morgen getüftelt – unter anderem mit einem neuen Weltrekord kleinster Strukturen, die mittels Fotolithografie am PSI erstellt wurden.

- 1 Hintergrund
Schneller, präziser, zuverlässiger –
die Zukunft der Produktion

Seite 10

- 2 Infografik
Licht als Werkzeug für
kleinste Strukturen

Seite 16

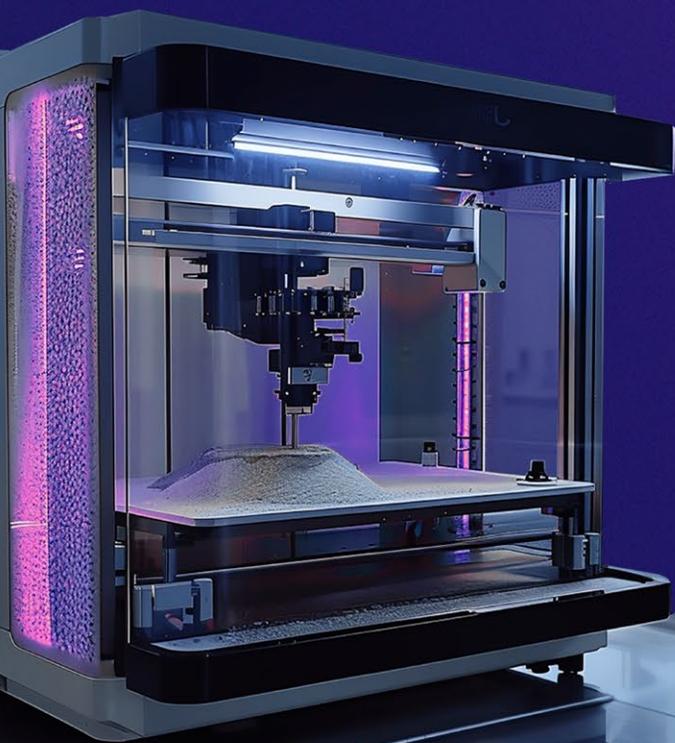
- 3 Interview
Wissenschaft trifft Industrie –
Innovation mit Wirkung

Seite 18

Schneller, präziser, zuverlässiger – die Zukunft der Produktion

Neue hochmoderne Fertigungstechniken, die als «Advanced Manufacturing» bezeichnet werden, sind ein Schlüssel für die Zukunft des Industriestandorts Schweiz. Am Paul Scherrer Institut PSI arbeiten Forschende daran, den 3-D-Druck noch weiter zu perfektionieren. Sie untersuchen neue Materialien für die Halbleiterindustrie und entwickeln eine «Roboterhaut» voller winziger Sensoren, um Maschinen sensible Fingerspitzen zu geben.

Text: Barbara Vonarburg



Um per 3-D-Druck zuverlässig standardisierte Bauteile für die Industrie anzufertigen, braucht es noch Weiterentwicklungen in den Verfahren. Steven Van Petegem vom Zentrum für Photonenforschung am PSI sieht jedoch ein grosses Potenzial. Für dieses Porträt haben wir ihn vor einen virtuellen Drucker gestellt.

Werkstücke oder ganze Produkte dreidimensional zu drucken, der sogenannte 3-D-Druck, ist vielleicht das bekannteste Beispiel für Advanced Manufacturing. Diese additive Fertigungstechnik ist besonders vielversprechend für die Luft- und Raumfahrt, die Autoindustrie, aber auch die Medizin. «Das Potenzial ist riesig», sagt Steven Van Petegem, Forscher in der Gruppe Struktur und Mechanik neuer Materialien am Zentrum für Photonenforschung des PSI. Für den Einsatz im industriellen Massstab gibt es allerdings noch eine grosse Herausforderung: Das Verfahren ist derzeit noch nicht zuverlässig genug. «Es gibt nur wenige Materialien, bei denen ein 3-D-Drucker in der Lage ist, tausendmal ein standardisiertes Bauteil mit konstant hoher Qualität zu produzieren. Um beispielsweise Teile für ein Flugzeug herzustellen, braucht es noch Weiterentwicklungen», erklärt Van Petegem.

Das Bauteil könnte etwa Risse oder Poren enthalten. Warum dies so ist, lässt sich erklären, wenn man herausfindet, was während des Druckprozesses geschieht. Genau dafür entwickelten die Forschenden am PSI spezielle Minidrucker, die sie an den Grossforschungsanlagen installieren können. «Mit unseren einzigartigen Einrichtungen und Maschinen können wir während des Druckprozesses tief ins Material hineinschauen, und sehen, wie sich die Mikrostruktur während der Herstellung entwickelt», erklärt Markus Strobl, Leiter der Forschungsgruppe Angewandte Materialien am Zentrum für Neutronen- und Myonenforschung des PSI.

Den Anfang machten die PSI-Forschenden vor fünf Jahren mit einem Gerät, das nur knapp fünfzig Zentimeter gross ist und für den Einsatz an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS bestimmt war. Inzwischen ist der Minidruker aus Villigen international so begehrt, dass er ständig in Betrieb ist und auch an Synchrotron-Anlagen in Hamburg und Grenoble eingesetzt wird. Der Erfolg spornte die Forschenden an, ein zweites, etwas grösseres Gerät zu bauen, das sie 2024 erstmals an der Schweizer Spallations-Neutronenquelle SINQ installierten. «Die Experimente damit haben auf Anhieb funktioniert, was eine hervorragende Leistung insbesondere unserer Doktorandin Shieren Sumarli ist», sagt Strobl.

Beide Minidrucker wenden das gleiche Verfahren an, das auch im grossen Massstab eine der gängigsten 3-D-Fertigungstechniken ist: die Laser-Pulverbettung. Dabei wird Metall als feines Pulver auf eine Bauplatte aufgetragen, der Laserstrahl fährt selektiv über das Pulver, schmilzt es und bringt es in die gewünschte Form. Es folgt die nächste dünne Pulverschicht, die der Laser wiederum schmilzt. So wächst das Bauteil Schicht für Schicht. Mit dem Synchrotronlicht respektive den Neutronen lässt sich dieser Prozess vor Ort (in situ) und in Echtzeit (operando) verfolgen.

Besonders interessiert sind die Forschenden zurzeit an der Fertigung von Proben aus mehreren Materialien. Denn ein kontrollierter 3-D-Druck von Multimaterialien könnte die Herstellung von Funktionsteilen ohne Füge- und Montagevorgänge ermöglichen. Bei den Experimenten an der SINQ drucken sie eine Kombination aus Stahl und Kupfer, die sich beispielsweise für den Bau von Wärmetauschern eignet. Der Stahl liefert mechanische Stabilität, das Kupfer hingegen leitet die Wärme besonders gut. Mithilfe der Neutronen konnten die Forschenden erstmals verfolgen, dass sich während des Druckvorgangs sogenannte magnetische Phasen bildeten. Sie vermuten, dass dieses Phänomen einen Zusammenhang mit der Bildung von Rissen haben könnte.

In anderen Experimenten an der SLS untersuchten sie Kombinationen aus Kupfer und Nickel oder Aluminium. «Wir haben beeindruckende Ergebnisse erzielt, die zeigen, was passiert, wenn sich das geschmolzene Metall äusserst schnell abkühlt, mit Raten von einer Million Grad pro Sekunde», erklärt Van Petegem: «Mit dem Synchrotronlicht der SLS können wir extrem schnell Bilder aufnehmen, bis zu 40 000 pro Sekunde.» Auf diese Weise lassen sich vor allem sehr dünne Proben anschauen. Die Neutronen der SINQ hingegen dringen tiefer ins Material ein und machen unter anderem Spannungen im Kristallgitter auf der Ebene von Atomen sichtbar. «Beide Methoden ergänzen sich ideal», sagt Strobl.

Risse, die beim Drucken entstehen, lassen sich aber auch hören – und somit akustisch messen. In einer sogenannten Druckprozesskammer wird ein hochempfindliches Mikrofon positioniert, das die akustischen Signale während des Fertigungsvorgangs aufzeichnet. Das Projekt wird vom Schweizerischen Nationalfonds im Rahmen des Sinergia-Programms unterstützt; neben dem PSI sind auch die ETH Lausanne EPFL und die Empa beteiligt. Die Forschenden nutzen die Röntgenstrahlen sowie die Neutronen, um gewissen akustischen Signalen die richtige Bedeutung zuzuordnen. Dann kommt künstliche Intelligenz ins Spiel. Dank maschinellen Lernens kann die für Menschen chaotische

«Wichtig ist eine sehr hohe Genauigkeit, nur dann wird die Industrie dieses Verfahren zur Qualitätsüberwachung nutzen.»

Steven Van Petegem, Forscher am Zentrum für Photonenforschung des PSI

A man wearing a white cleanroom suit, a hood, and safety glasses is holding a circular silicon wafer. The wafer has a grid pattern of small squares on its surface. The background is dark with some blue and purple lighting.

«In den vergangenen Jahren kamen so gut wie alle Hersteller von Mikrochips für Tests ans PSI.»

Yasin Ekinci, Laborleiter am Zentrum für Photonenforschung des PSI

Silizium ist die Basis heutiger Computerchips. Yasin Ekinci, Laborleiter am Zentrum für Photonenforschung des PSI, zeigt einen der runden Wafer aus dem hochreinen Material. Die Halbleiterindustrie nutzt Fotolithografie, um feinste Strukturen darauf zu erzeugen. Wir haben diese per Bildbearbeitung auf dem Wafer angedeutet.

Schallaufzeichnung blitzschnell interpretiert werden. So merkt man, wenn etwas falsch läuft und kann dies noch im Prozess korrigieren. «Wichtig ist eine sehr hohe Genauigkeit», erklärt Van Petegem. «Nur dann wird die Industrie dieses Verfahren zur Qualitätsüberwachung nutzen.»

Industriestandort Schweiz fördern

«Die Ansprüche an die Materialien sind heutzutage viel höher als früher», erklärt auch Frithjof Nolting, Leiter des Labors für kondensierte Materie am Zentrum für Photonenforschung des PSI. «Advanced Manufacturing ist eine wichtige, aktuelle Thematik, mit der wir den Industriestandort Schweiz fördern», sagt er. Viele Werkstoffe bestehen aus verschiedenen Elementen mit unterschiedlichen Funktionen. Dies erfordert präzises Detailwissen. Während man früher, vereinfacht gesagt, nur an der Härte, Zusammensetzung oder Elastizität eines Materials interessiert war, muss man heute dessen Mikro- und Nanostruktur kennen, um zu verstehen, wie es sich in einem Fertigungsverfahren verhält. «Mit unseren Techniken am PSI können wir solche Informationen liefern; das ist unsere Stärke», sagt Nolting.

Er zählte 2019 zu den Gründern des Technologietransferzentrums ANAXAM, das es Industriefirmen erleichtert, die Grossforschungsanlagen des PSI für die Untersuchung ihrer Materialien und Herstellungsprozesse zu nutzen. ANAXAM steht für «Analytics with Neutrons and X-Rays for Advanced Manufacturing» und wird zu zwei Dritteln mit öffentlichen Mitteln finanziert; ein Drittel steuern Industriepartner bei. «ANAXAM stellt seine analytischen Kompetenzen und die Grossforschungsanlagen SLS und SINQ des PSI interessierten Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen im Rahmen von Experimenten und Messungen zur Verfügung. Damit können unsere Kunden ihre Prozesse und Produkte insbesondere im Bereich Advanced Manufacturing optimieren», sagt Christian Grünzweig, Geschäftsführer des Zentrums.

So untersuchte das Genfer Unternehmen Givaudan an einer Strahllinie der SLS die 3-D-Struktur von gepufften Snacks, zu deren Herstellung neue Zutaten verwendet wurden. Die Firma Huba Control in Würenlos, die auf Druck- und Durchflussmesstechnik spezialisiert ist, konnte die Robustheit von neuentwickelten Sensoren steigern. Denn die Untersuchung mittels hochauflösender Synchrotron-Computertomografie half, den Verlauf der Glasfasern im Kunststoffspritzgussteil des Messrohres zu optimieren. Und die Firma Winterthur Gas und Diesel, die Schiffsmotoren entwickelt, untersuchte an der SLS additiv gefertigte Einspritzdüsen von Dieselmotoren, um den Herstellungsprozess zu

verbessern und Düsen mit optimalen Strömungseigenschaften zu fertigen.

«ANAXAM hat sich das Ziel gesetzt, Industriekunden während des gesamten Lebenszyklus ihrer Produkte und Prozesse mit seinen Analytik-Kompetenzen zu unterstützen, damit diese innovative und qualitativ hochwertige Produkte auf dem Markt anbieten können», sagt Grünzweig. «Mit rund 50 Projekten pro Jahr ist dies aus meiner Sicht eine schöne Erfolgsgeschichte», ergänzt Nolting. 2023 wurde am PSI ein zweites Technologietransferzentrum gegründet. Das «Swiss Photonics Integration Center» (Swiss PIC) stellt sich in den Dienst der Photonik-Industrie, welche Licht zur Übertragung von Information nutzt. Beide Zentren sind Teil des Verbunds «Advanced Manufacturing Technology Transfer Centers», kurz AM-TTC, der sich dafür einsetzt, dass neue Herstellungstechnologien ihren Weg aus den Forschungslabors in die industrielle Anwendung finden.

Mikrochip-Hersteller prüfen neue Materialien

In der Halbleiterindustrie ist das Forschungsinstitut in Villigen schon lange eine bekannte Adresse. «In den vergangenen Jahren kamen so gut wie alle Hersteller von Mikrochips für Tests ans PSI», sagt Yasin Ekinci, Leiter des Labors für Röntgen-Nanowissenschaften und Technologien, das ebenfalls zum Zentrum für Photonenforschung gehört. «In der Halbleiterindustrie bedeutet Advanced Manufacturing Fotolithografie.» Ultraviolettes Licht trifft auf eine Fotomaske, die als Vorlage für die Leiterbahnen und Transistoren auf dem Chip dient. Eine komplexe Optik verkleinert das Bild dieser Maske und projiziert es wiederholt auf eine mit einem Fotolack beschichtete Siliziumschicht.

«Anfänglich hatte man etwa 1000 Transistoren auf einem Chip, heutzutage sind es bis zu 100 Milliarden Transistoren, die auf einem Daumnagel Platz finden», sagt Ekinci. Diese unglaubliche Miniaturisierung gelang nur, indem man in der Fotolithografie zu Licht mit immer kürzerer Wellenlänge wechselte. Nun wird für die leistungsfähigsten Chips, die beispielsweise in den führenden Smartphones verbaut sind, sogenanntes extremes ultraviolettes Licht (EUV) mit einer Wellenlänge von 13,5 Nanometern eingesetzt (1 Nanometer ist ein Millionstel eines Millimeters). Doch dazu brauchte es eine völlig neue Technik, zu deren Entwicklung das PSI wesentliche Beiträge leistete.

Die Hochleistungschips werden mit sogenannten Scannern hergestellt, welche die wohl komplexesten Maschinen sind, die je gebaut wurden. Tests an den Originalgeräten wären risikoreich und mit einem riesigen Aufwand verbunden. Deshalb nutzt die Industrie die Tatsache, dass auch die Synchrotron

Lichtquelle Schweiz SLS extremes ultraviolettes Licht erzeugt. «Hier an der SLS haben wir eine viel einfachere, schnellere und günstigere Methode für EUV-Lithografie», erklärt Ekinci. «Damit können wir zwar keine Transistoren herstellen, aber feinste Strukturen erzeugen und verschiedene Testmöglichkeiten anbieten.» Sein Team hält sogar einen Weltrekord. Während die industrielle EUV-Fotolithografie heute Strukturen aus rund zehn Nanometer breiten Linien herstellt, weisen die feinsten, an der SLS erzeugten Muster eine Linienbreite von nur fünf Nanometern auf. «Das sind die kleinsten Strukturen, die je von Menschen gemacht wurden», sagt Ekinci.

Vor allem neue, potenzielle Fotolacke wurden am PSI zuhauf geprüft. Denn für die EUV-Lithografie eignen sich die gängigen Materialien nicht mehr. Mit den Tests am PSI wurde untersucht, ob ein neuer Fotolack beim Beschreiben die Anforderungen in puncto Auflösung und Sensibilität erreicht. Dabei erforderte die Zusammenarbeit mit der Industrie Fingerspitzengefühl und Verschwiegenheit. Gerne hätte Ekinci selbst einen neuen Fotolack entwickelt, doch lange zögerte er: «Hätten wir etwas Ähnliches gemacht wie unsere Kunden, hätte dies als Vertrauensbruch gewertet werden können», erklärt er. «Nun haben wir uns aber an etwas komplett Neues gewagt.»

Die bestehenden Fotolacke basieren auf sogenannten Polymeren, also grossen Ketten aus Molekülen. «Auf atomarer Ebene sieht dies aus wie ein Kabelhaufen», sagt Ekinci. «Will man immer feiner schreiben, braucht man auch viel kleinere Moleküle als Bausteine.» Seine Gruppe entwickelte deshalb in den letzten zwei Jahren einen neuartigen Werkstoff, der auf einem Metalloxid basiert. Um diese Forschung auf akademischem Niveau in ein industrielles Produkt zu überführen, braucht es jedoch grosse Investitionen. Deshalb arbeitet die PSI-Gruppe nun mit der finnischen Firma PiBond zusammen, die eine Tochtergesellschaft im Park Innovaare gegründet hat. PiBond soll die PSI-Entwicklung weiterführen und kommerzialisieren.

Eine Haut für Roboter

Auch Barbara Horvaths neu gegründetes Spin-off-Unternehmen «Inveel» hat seinen Sitz im Park Innovaare. «Stellen Sie sich vor, ein Roboter will diese Kaffeetasse anheben», sagt die Materialwissenschaftlerin und greift nach der Tasse auf dem Tisch vor ihr. «Mit der von uns entwickelten Haut an seinen Fingern wird er das ganz einfach schaffen.» Horvath hat vom PSI ein «Founder Fellowship» erhalten, mit der das Institut sie bei der Umsetzung ihrer Forschungsergebnisse zu einem Produkt unterstützt.

Als Postdoktorandin am PSI entwickelte Horvath eine neuartige Fertigungsmethode, mit der man elektronische Schaltkreise direkt auf eine Polymeroberfläche drucken kann. «Und zwar mit sehr hoher Auflösung, sehr schnell und auf grosse Flächen», erklärt sie. Nun arbeitet sie mit ihrem Team am Prototyp einer Roboterhaut. Auf einer grossflächigen Folie werden dicht aneinander winzige Sensoren aufgedruckt, wobei die Grössenskala bis in den Bereich von einigen hundert Nanometern hinunterreicht. «Bringt man diese Haut an den Fingerspitzen eines Roboters an, fühlt er nicht nur einzelne Punkte, sondern setzt diese zu einer Art Tast-Karte zusammen, die ihm zeigt, ob er einen Gegenstand oben, unten oder in der Mitte berührt», erklärt Horvath. «So kann er diesen viel besser greifen und handhaben.»

Horvaths Prozess beginnt mit dem Design und der Herstellung eines präzisen Stempels. Dies geschieht im neu gebauten, 450 Quadratmeter grossen Reinraum des PSI im Park Innovaare. «Hier haben wir die benötigten Hightech-Maschinen und auch sonst ausgezeichnete Bedingungen», sagt sie. Der Stempel wird mit dem Material in Kontakt gebracht, um die Oberfläche vorzubereiten. Dadurch können im nächsten Schritt metallische Nanopartikel exakt platziert werden. Diese wiederum werden schliesslich zu winzigen Nanodrähten verschmolzen. Genauer will Horvath nicht verraten: «Wir melden immer noch Patente an, und ich möchte diesen Prozess nicht gefährden.»

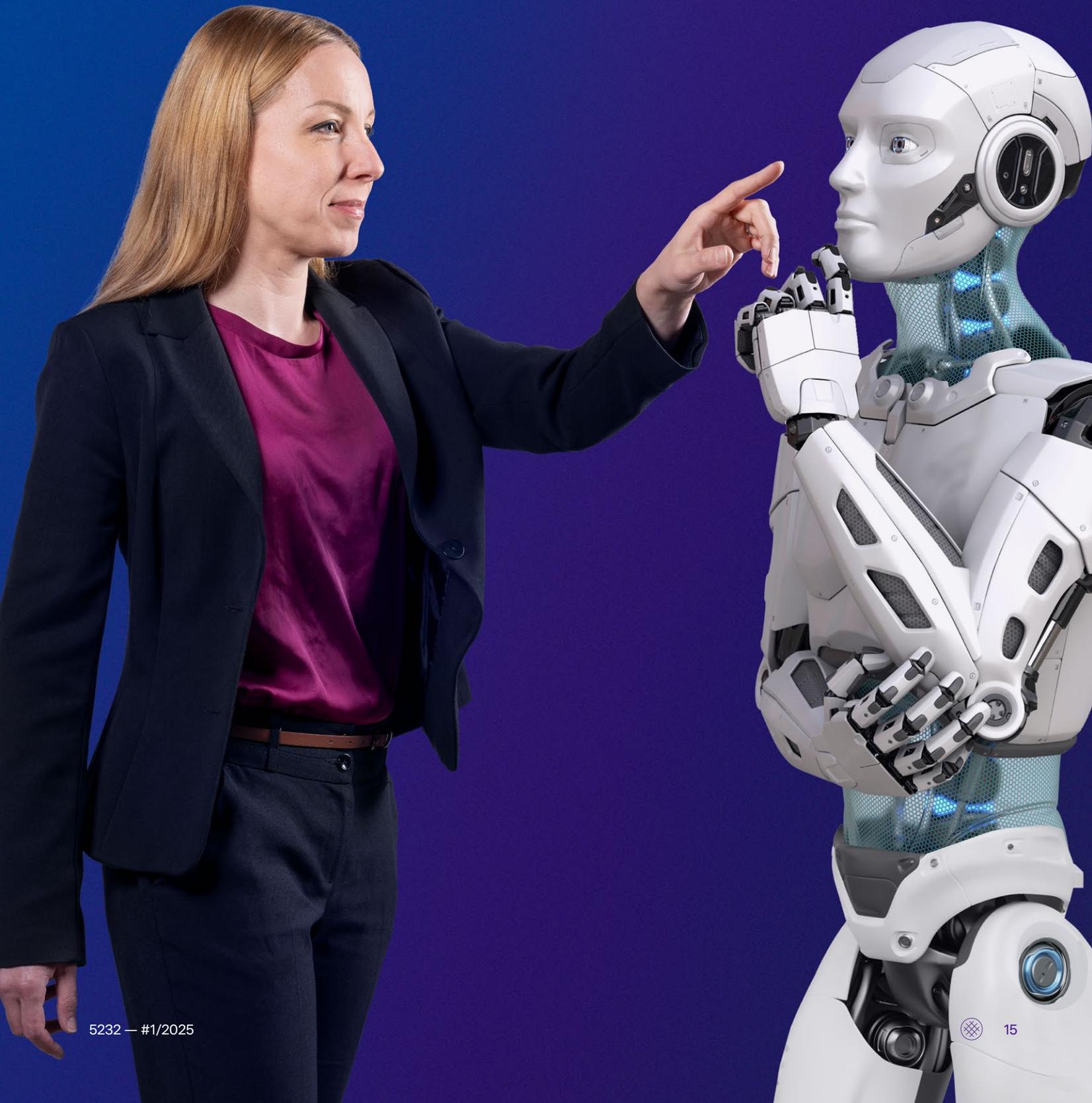
Das Fertigungsverfahren könnte sich noch für viele weitere Zwecke verwenden lassen, zum Beispiel für intelligente Fenster, die nur bestimmte Wellenlängen des einfallenden Lichts durchlassen und so die Temperatur regeln. Doch vorerst will sich Horvath darauf konzentrieren, die Roboterhaut zur Marktreife zu bringen. Auch Temperatur- und Feuchtigkeitssensoren könnten auf die Polymeroberfläche gedruckt werden. So würde ein Roboter spüren, wenn jemand in seiner Nähe atmet. «Momentan tönt das sehr futuristisch», gibt sie zu. Doch sie ist überzeugt, dass sich diese Entwicklung durchsetzen wird: «Ein solcher Roboter könnte schon bald meine Tasse aufnehmen und zurückbringen.» ●

«Bringt man diese Haut an den Fingerspitzen eines Roboters an, fühlt er nicht nur einzelne Punkte, sondern setzt diese zu einer Art Tast-Karte zusammen.»

Barbara Horvath, CEO und Mitgründerin der Inveel GmbH



Barbara Horvath, ehemalige Forscherin am PSI, entwickelt mit ihrem Spin-off-Unternehmen Inveel eine Fertigungsmethode, mit der sich elektronische Schaltkreise auf eine Polymeroberfläche drucken lassen. So soll eine Art sensible elektronische Haut entstehen, womöglich für einen Roboter, wie wir ihn hier fiktiv ins Bild gesetzt haben.



Licht als Werkzeug für kleinste Strukturen

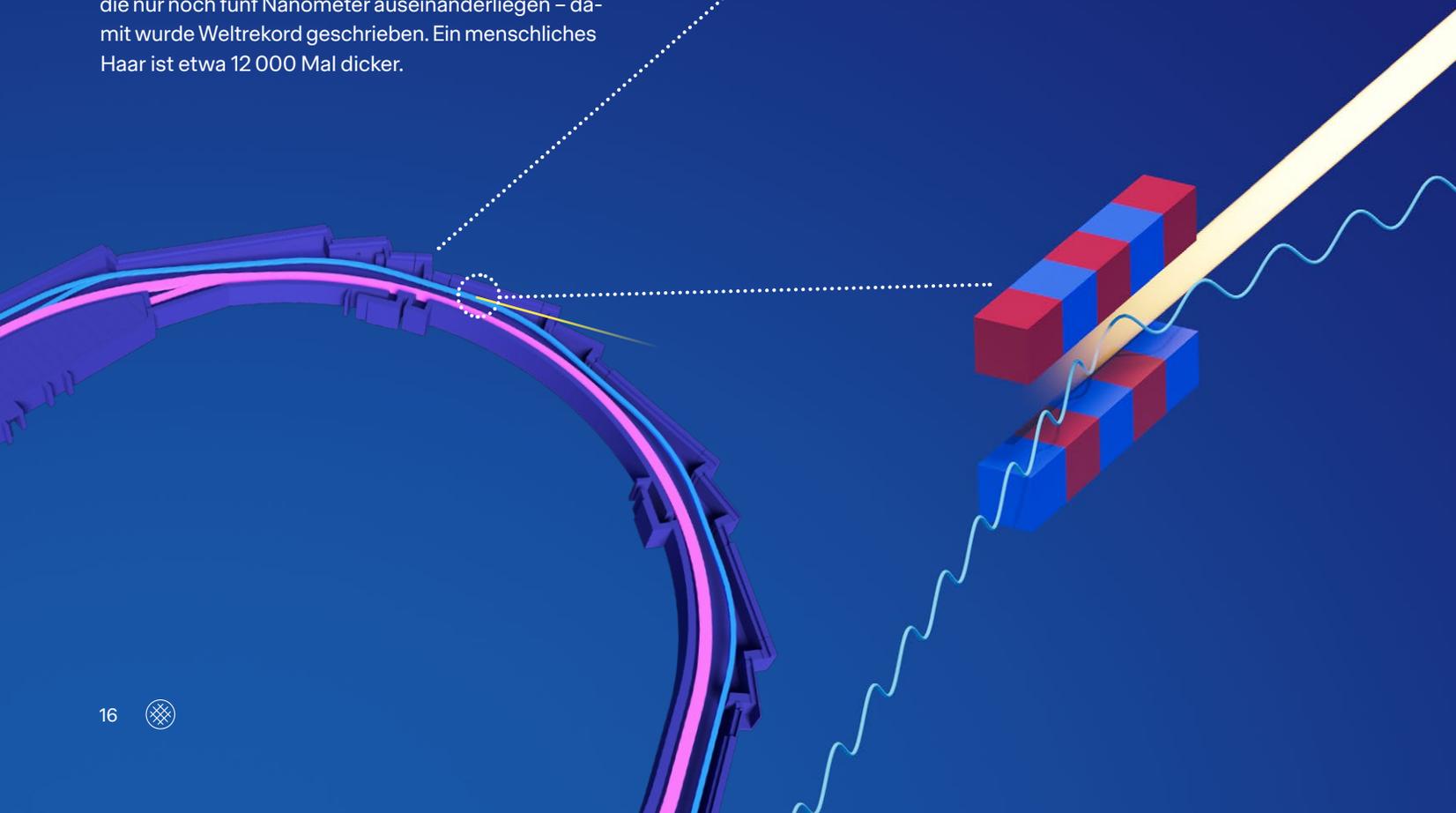
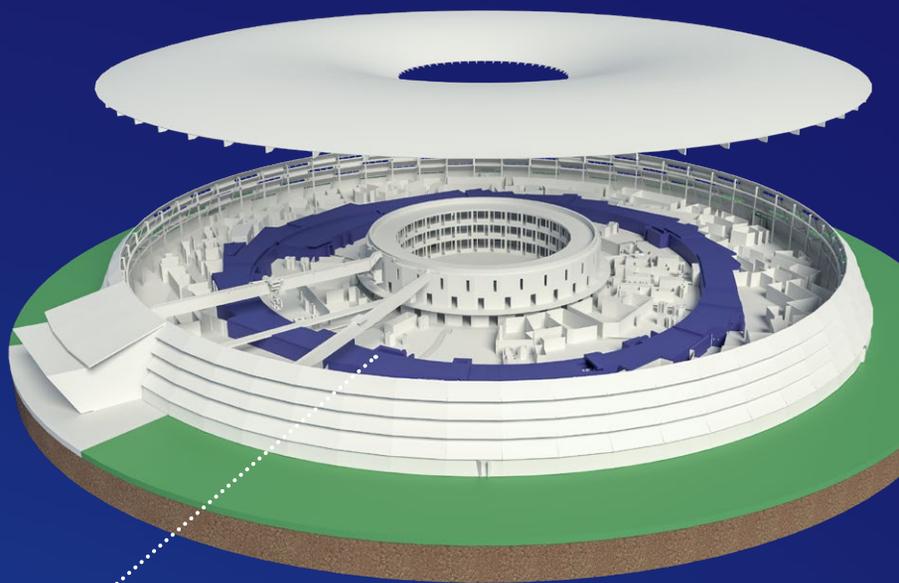
Was mit blossen Auge nicht zu erkennen ist, bestimmt die Leistungsfähigkeit unserer Smartphones und Grafikkarten. Der Schlüssel hierfür ist eine Methode namens Fotolithografie: Spezielles Licht zeichnet den Bauplan des Chips auf den mit Fotolack beschichteten Wafer. Um möglichst kleine Strukturen herzustellen, wird für die modernsten Chips extrem ultraviolettes Licht (EUV) verwendet. Die Anlagen zur Herstellung dieser Hochleistungs-chips sind äusserst komplex und teuer. So stammt das Licht aus einer 200 000 Grad heissen Plasmaquelle und wird durch ein optisches System aus 35 000 Einzelteilen geschickt.

Am PSI haben Forschende eine neue Methode für die EUV-Lithografie entwickelt, die einfacher und günstiger ist. Sie basiert auf der Überlagerung zweier Lichtstrahlen, wodurch sich das Licht verstärkt oder abschwächt, der sogenannten Interferenz (EUV-IL). Die neue Methode kommt ohne Plasmaquelle und mit einer einfacheren Optik aus. Das Verfahren eignet sich zwar nicht für die Chip-Produktion, wird von der Industrie aber rege für Materialtests verwendet und kann feinste Muster mit höchster Auflösung erzeugen.

Bei den modernsten Chips sind die Leiterbahnen rund zehn Nanometer voneinander entfernt. Mit der PSI-Methode lassen sich Linien in den Fotolack prägen, die nur noch fünf Nanometer auseinanderliegen – damit wurde Weltrekord geschrieben. Ein menschliches Haar ist etwa 12 000 Mal dicker.

Licht aus der Grossforschungsanlage

An der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS am PSI wird mittels beschleunigter Elektronen besonders intensives Licht erzeugt. Die Elektronen rasen mit beinahe Lichtgeschwindigkeit auf einer Kreisbahn mit einem Gesamtumfang von 288 Metern und emittieren dabei Synchrotronstrahlung. Diese lässt sich neben vielen anderen Anwendungen auch für die Fotolithografie nutzen.



Extrem ultraviolette Strahlung

Auf der Kreisbahn in der SLS gibt es gerade Bahnstücke, in die eine Anordnung aus sich abwechselnden Permanentmagneten eingebaut ist. Dieser Undulator zwingt die Elektronen auf eine Wellenbahn und erzeugt so Licht mit der gewünschten Wellenlänge. Für die Herstellung kleinster Strukturen verwenden die PSI-Forschenden extrem ultraviolettes Licht (EUV), das auf den Industriestandard von 13,5 Nanometern abgestimmt ist.

Spiegel und Lochblende

Der EUV-Lichtstrahl wird von einer Reihe von Spiegeln auf eine Lochblende fokussiert.

Feinstes Muster

Nach der Lochblende trifft der Strahl üblicherweise auf eine Maske mit Gittern aus feinen Linien und wird dadurch aufgeteilt. Wo sich die Strahlen wieder überschneiden, entsteht ein Interferenzmuster mit Linien, deren Abstand viel kleiner ist als das erzeugende Gitter. Mit diesem Interferenzmuster wird der Fotolack auf dem Wafer belichtet.

Als Alternative zur Gittermaske haben PSI-Forschende eine Vorrichtung mit Spiegeln entwickelt. Nach der Lochblende wird der mittlere Teil des EUV-Strahls blockiert, sodass nur die beiden äusseren Bereiche weitergelangen. Durch zwei Spiegel in spitzem Winkel werden diese beiden Teile des Strahls dann auf der Probe wieder auf denselben Punkt gebracht. Hier entsteht wieder Interferenz – und ein entsprechendes Muster wird im Fotolack erzeugt. Die PSI-Forschenden konnten damit eine Auflösung von nur fünf Nanometern erreichen. Der Aufbau mit den beiden Spiegeln ist dabei nur so gross wie ein Fünffrankenstück.

Wissenschaft trifft Industrie – Innovation mit Wirkung

Seit 2023 hat die niederländische VDL Enabling Technologies Group (VDL ETG) eine Niederlassung im Park Innovaare in Villigen – direkt neben dem PSI. Als Teil des Familienunternehmens VDL Groep ist VDL ETG ein weltweit tätiger Zulieferer von Unternehmen, die Hightech-Produktionsanlagen herstellen und hochmoderne Fertigungslinien nutzen. Hans Priem ist Business Development Manager bei VDL ETG. Cees Maris ist der Hauptverantwortliche für VDL ETG im Park Innovaare.

Interview: Barbara Vonarburg

Was stellt Ihr Unternehmen her?

Hans Priem: Wir sind ein sogenannter «contract manufacturing partner». Unsere Kunden verkaufen zum Beispiel Maschinen zur Herstellung von Halbleitern oder Produkte in den Bereichen Analytik, Weltraum, Medizin und vieles mehr. Diese Maschinen sind immens komplex; zum Beispiel nutzen sie Hochvakuum, haben eine sehr hohe Genauigkeit und einen gewaltigen Durchsatz. Unsere Kunden lagern einen Teil der Entwicklung, der Produktion, der Montage und der Tests von Modulen oder ganzen Systemen an unser Unternehmen aus. Wir sind also im Bereich High-End- und Hightech-Auftragsfertigung tätig.

Was bedeutet Advanced Manufacturing für Sie?

Cees Maris: Wir sind in unserer Branche immer bestrebt, die Grenzen des Machbaren zu verschieben. Um dies zu erreichen, müssen wir die Physik hinter den von uns entwickelten Produkten genau verstehen. So können wir unseren Kunden optimale Lösungen anbieten, die zu einer erstklassigen Leistung innovativer Produkte führen. Ich würde diesen Ansatz als «Advanced Manufacturing» bezeichnen, und wir glauben, dass er durch die intensive Zusammenarbeit mit dem PSI und den Partnerfirmen im Park Innovaare sowie durch die Verbindung von Forschung und Industrie erreicht werden kann.

Hans Priem: Im Moment haben wir die richtige Infrastruktur und die entsprechenden Möglichkeiten, um die Bedürfnisse unserer Kunden zu bedienen. Aber die Herausforderung besteht nicht nur darin, diese Technologien jetzt zur Verfügung zu haben. Daher denken wir bereits heute darüber nach, was in fünf oder zehn Jahren benötigt wird. Auf der Grundlage des Inputs unserer Kunden und unserer eigenen Einschätzungen und Initiative haben wir uns entschieden, die bereits bestehende Beziehung und intensive Zusammenarbeit mit dem PSI zu stärken und eine

Niederlassung am Park Innovaare zu gründen. Wir kennen das Institut sehr gut, da wir bereits beim Bau des SwissFEL und verschiedenen anderen Projekten mit dem PSI zusammengearbeitet haben.

Der Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL ist die jüngste Grossforschungseinrichtung des PSI. Was war der Beitrag von VDL ETG zum Bau dieser über 700 Meter langen Anlage, in der ein Linearbeschleuniger steckt?

Hans Priem: Wir haben über 12 000 hochpräzise Bauteile hergestellt, die zusammen die zentralen Elemente des Beschleunigerrohrs des SwissFEL bilden. Diese speziell geformten Kupferscheiben müssen sehr genaue Form- und Lagetoleranzen von wenigen Mikrometern einhalten, ausserdem variiert die Geometrie von Scheibe zu Scheibe. Hergestellt wurden die Scheiben von VDL ETG Switzerland in Trübbach in der Ostschweiz. Es war schon etwas Besonderes für uns, dass wir eine so hohe Stückzahl mit einer solchen Präzision fertigen konnten. Wenn man in der Präzisionsfertigung gut ist – und ich glaube, das sind wir – dann ist es sehr wichtig, dass man bei derartigen Projekten mitmacht wegen des Technologiefortschritts. Hier bietet sich uns vor allem die Gelegenheit, unsere Fähigkeiten weiterzuentwickeln, und wir wenden diese Präzisionsfertigung dann in unseren hauptsächlichen Geschäftsbereichen an, beispielsweise als Zulieferer für den Bau spezieller grosser Elektronenmikroskope, die eine besonders hohe Auflösung haben, und bei unseren Kunden aus der Halbleiterindustrie.

Inwiefern kann man die Beschleunigertechnologie bei der Halbleiterproduktion einsetzen?

Cees Maris: Wir arbeiten unter anderem in der Halbleiter-Metrologie, also der Messtechnik. Wir stellen fest, dass es immer mehr Bedarf an der Inspektion



Das international tätige Unternehmen VDL ETG hat auch einen Sitz am Park Innovaare – und dort vom Fenster aus einen direkten Blick auf die Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS des PSI. Gemeinsam mit PSI-Forschenden arbeitet VDL ETG unter anderem an Prototypen für die Mikrochip-Inspektion sowie im Bereich der Magnet- und Kryotechnik, erzählen Hans Priem (links) und Cees Maris.

von Mikrochips und Wafern gibt, weil in der Halbleiterindustrie so viele Schritte zur Herstellung eines Chips und zur Fertigstellung eines Wafers erforderlich sind, oft sind es 600 Prozessschritte für einen Wafer. Für die Qualitätskontrolle braucht es Prüf- und Messverfahren. Röntgenlichtquellen auf der Basis von Beschleunigern gewinnen dabei zunehmend an Bedeutung für die Inspektion. Das PSI verfügt mit der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS und dem Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL über eine Menge Wissen auf dem Gebiet von beschleunigerbasierten Röntgenlichtquellen. Für die Realisierung solcher Grossforschungsanlagen braucht es zudem starke Magnete und es muss ein gutes Vakuum erzeugt werden. Dies sind Punkte, die auch in unseren Produkten Verwendung finden.

Deshalb ist die Technologie dahinter für uns ebenfalls von grossem Interesse.

Hans Priem: Zudem wird die Beschleunigertechnologie auch in der Medizin eingesetzt, so etwa für die Protonentherapie, bei der das PSI Pionierarbeit geleistet hat. Und sie ist wichtig für die Entwicklung der Flash-Therapie, einer sehr gezielten Krebsbehandlung, bei der sehr hohe Strahlendosen in kurzen Pulsen verabreicht werden.

Die Gebiete, in denen VDL ETG tätig ist, decken sich also zum Teil mit den Forschungsgebieten des PSI?

Hans Priem: Ja, die Forschenden am PSI untersuchen eigentlich die gleichen Herausforderungen wie wir, aber aus einer anderen Perspektive. Die Kombination

dieser beiden Sichtweisen führt auf beiden Seiten zu einer Reihe wichtiger, neuer Erkenntnisse. Das ist auch der Grund, warum es für uns von strategischer Bedeutung ist, Teil vom Park Innovaare und des PSI zu sein. Es handelt sich um eine langfristige Investition, um auch in fünf Jahren noch erfolgreich zu sein.

In unseren Projekten, die wir an Standorten in den Niederlanden durchführen, werden manchmal Projektfragen bearbeitet, für die es im PSI vielleicht schon Antworten gibt. Zu dieser Art von Projekten wollen wir mit unserem Team im Park Innovaare beitragen.

Haben Sie dafür ein Beispiel?

Hans Priem: Ja, wir sind zum Beispiel Teil des Teams, das die Prototypen für die Mikrochip-Inspektion baut. Ein anderer Bereich ist die Magnet- und Kryotechnik, also die Tieftemperaturtechnik. Wenn man einen Prototyp baut, aber die physikalischen Grundlagen nicht genau kennt, kann man später bei der Produktion auf ein Problem stoßen. Deshalb ist es viel sinnvoller, ein solches Prototyp-Projekt am Park Innovaare anzusiedeln. Denn wenn wir etwas entdecken, das wir nicht verstehen, können wir einfach die Straße überqueren und haben am PSI die richtigen Experten mit den entsprechenden Kompetenzen, die uns helfen können.

An welchem konkreten Prototyp-Projekt arbeiten Sie zurzeit mit Forschenden des PSI zusammen?

Cees Maris: Zusammen mit dem Team der Magnetsektion des PSI führen wir Experimente zu sogenannten Pulsating Heat Pipes (PHP) bei sehr tiefen Temperaturen durch. Die PHP ist eine Röhre, die mit einem Medium gefüllt ist, das im angewandten Temperaturbereich sowohl in der Gas- als auch in der Flüssigphase vorliegt. Die im PHP erzeugten Gasblasen bewirken, dass sich die Flüssigkeit hin- und herbewegt. Die Idee ist, dass wir die PHP nutzen können, um Wärme von einem supraleitenden Magneten sehr effizient zum Kühlsystem zu transportieren.

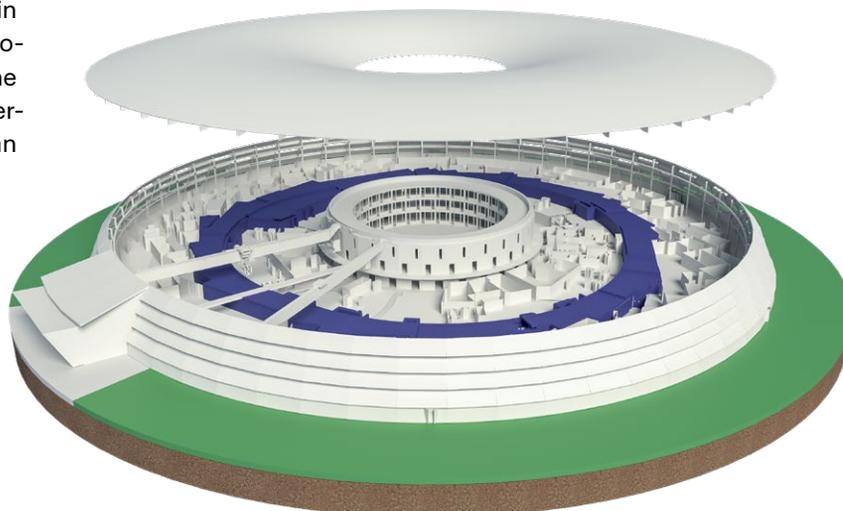
Supraleitende Magnete werden zunehmend in Beschleunigern und in der Magnetresonanztomografie eingesetzt. Die Supraleitung bietet eine Reihe von Vorteilen. Man kann sehr starke Magnete herstellen, die wenig Energie verbrauchen, aber man

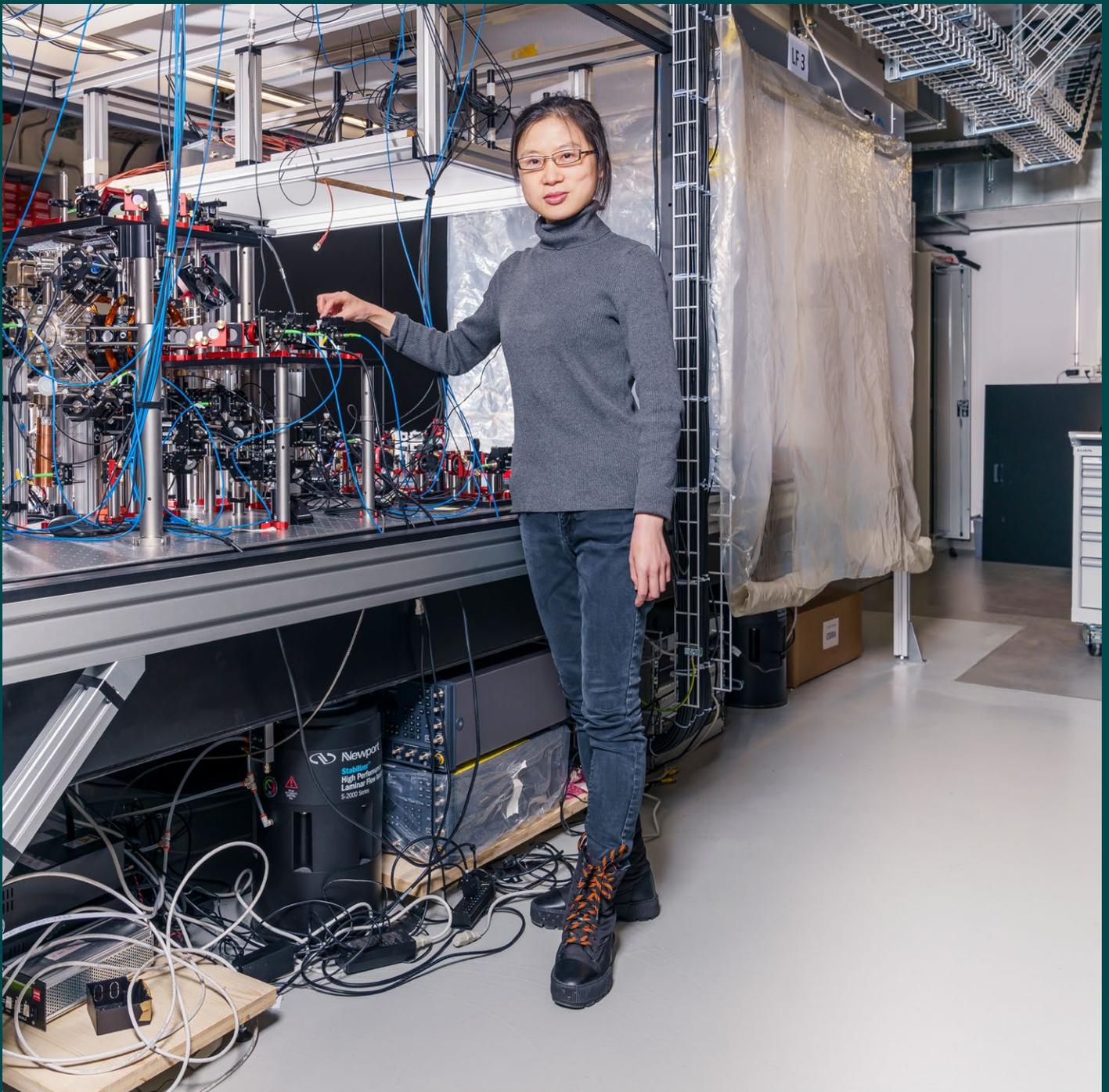
muss sie auf eine sehr niedrige Temperatur kühlen. Unser gemeinsames Team baute einen Prüfstand im Magnetlabor des PSI. Wir haben das PHP mit Neon gefüllt und die Wärmeleitfähigkeit bei Temperaturen von minus 245 Grad Celsius getestet. Die Einrichtungen am PSI für diese Art von Experimenten sind sehr gut, aber vor allem die Leute von der Magnetsektion, der Abteilung Beschleuniger-Technologie und der Vakuumsektion haben dieses Projekt in einer sehr angenehmen Zusammenarbeit ermöglicht. Die ersten Ergebnisse dieser Versuche sind vielversprechend. Mögliche Anwendungen für diese Technologien sehen wir in der Halbleiterindustrie und Raumfahrt. Für Letztere ist interessant, dass das System ohne Gravitation funktioniert.

Würden Sie sagen, dass Ihre Zusammenarbeit mit dem PSI und hier im Park Innovaare etwas Besonderes ist?

Hans Priem: Ich kann nicht genug betonen, wie wichtig unsere Freundschaft mit dem PSI und dem Park Innovaare-Team für uns ist. Rational gesehen ist sie zwar strategischer Natur, aber sie macht auch viel Spaß. Und wir sind sehr stolz darauf, Teil dieses enorm produktiven und innovativen Netzwerks zu sein. ●

VDL Groep ist ein Industriekonzern und Familienunternehmen mit Sitz im niederländischen Eindhoven. VDL Enabling Technologies Group (VDL ETG) ist Teil der VDL Groep und beschäftigt weltweit rund 6000 Mitarbeitende. Ein Standort der VDL ETG befindet sich in Trübbach in der Ostschweiz. VDL ETG Switzerland hat rund 200 Mitarbeitende und ist spezialisiert auf die Systemintegration von hochpräzisen Komponenten, mechatronischen Systemen und kompletten Modulen in verschiedenen Bereichen der Hightech-Industrie. Der Niederländer Hans Priem arbeitet seit 2010 als Manager bei VDL ETG. Cees Maris, ebenfalls Niederländer, ist Ingenieur, seit 2018 bei VDL ETG und baut seit 2023 das VDL-ETG-Büro im Park Innovaare auf.





Angewandetes Quanten-Wissen

Wenchao Xu arbeitet im Zentrum für Photonenforschung auf dem Gebiet der Quantenoptik und des Quanten-Engineerings. In ihrem Labor nutzt sie quantenmechanische Effekte, um auf diesem Forschungsfeld die physikalischen Grundlagen zu erforschen und praktische Anwendungen zu entwickeln. Hierfür kontrolliert und manipuliert sie elektrisch neutrale Atome auf Einzelatomebene und nutzt deren kontrollierbare Wechselwirkungen für Quantensimulationen und Quantenberechnungen. Ihr Ziel ist es, einen fehlerkorrigierenden Quantencomputer in grossem Massstab mit schnellen Rechenoperationen zu bauen.

PSI-Forschung im meistbesuchten Museum der Schweiz



Energy Science for Tomorrow (ES4T) ist eine Joint-Initiative der ETH Zürich, ETH Lausanne EPFL, EMPA, PSI und dem Verkehrshaus der Schweiz. Ihr Ziel: Energiethemen für jede Generation verständlich und greifbar machen und dadurch den Austausch zwischen Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft fördern.



Text: Benjamin A. Senn

Es sind intime Fragen, mit denen das Ausstellungsstück Emission Explorer die Besucherinnen und Besucher des Verkehrshauses konfrontiert: «Wie ernährst du dich?» oder: «Wie oft kaufst du neue Dinge?». Die Fragen werden farbenfroh auf einem interaktiven Bildschirm mit fünf möglichen Antworten präsentiert: Lebe ich nun eher «vegan» oder esse ich Fleisch «wie ein Löwe»? Kaufe ich «fast nie etwas» oder «liebe ich Shopping». Gefragt sind kritische Selbsteinschätzung und gleichzeitig eine Prise Mut – denn schliesslich exponiert man sich mit der persönlichen Antwort auf dem Bildschirm auch den Nächsten in der Schlange.

Der Emission Explorer befindet sich im House of Energy und gehört seit Oktober 2024 zur Dauerausstellung im Verkehrshaus – dem meistbesuchten Museum der Schweiz mit über einer Million Eintritten im Jahr 2023. Finanziert wurde das Exponat vom ETH-Rat, der im Rahmen der Joint-Initiative ES4T den gesellschaftlichen Dialog fördern möchte. Wie sein Name suggeriert, hat das Exponat zum Ziel, das Emissionsverhalten der Besuchenden zu erkunden und sie für ihren ganz persönlichen CO₂-Fussabdruck zu sensibilisieren.

«Mit fünf einfachen Fragen wollen wir auf spielerische Art zeigen, wie das persönliche Verhalten den CO₂-Ausstoss beeinflussen kann», erklärt Alicia Siliézar – sie ist Projektmitarbeiterin bei ES4T. Die studierte Archäologin hat bereits Erfahrungen in verschiedenen Museen und Ausstellungen gesammelt und arbeitet neben ihrer Projektstätigkeit im ES4T auch im Besucherzentrum des PSI. «Ergänzend zu den persönlichen Emissionen zeigt unser Exponat auch systemische Emissionen auf, also solche, zu denen man indirekt beiträgt, weil sie beispielsweise durch die hiesige Infrastruktur entstehen.»

Dialogplattform für Energiethemen

Mit dem House of Energy eröffnete das Verkehrshaus im April 2023 nicht nur einen modernen und energieeffizienten Neubau, sondern betrat mit der dazugehörigen Ausstellung gleichzeitig thematisches Neuland. In unmittelbarer Nachbarschaft zur Schienenhalle mit ihrer Sammlung historischer Schweizer Züge – ein



Die neue Dauerausstellung «Experience Energy!» beleuchtet an abwechslungsreichen, interaktiven Stationen verschiedene Aspekte von Energie und Klima – darunter Klimaschutz, die zukünftige Sicherung der Energieversorgung und die Auswirkungen des Energieverbrauchs auf die Erderwärmung.

Ort, der wohl in manchen Schweizer Besuchenden Schulreise-Nostalgie weckt – offenbart sich heute die Dauerausstellung «Experience Energy!», welche die Besucherinnen und Besucher in die nachhaltige Schweiz der Zukunft entführt.

Dabei werden verschiedene Partner aus Wirtschaft, Bildung und Forschung in die Gestaltung der Ausstellung miteingebunden und finden so eine Plattform zum politischen und gesellschaftlichen Dialog. Neben den Institutionen des ETH-Bereichs sind beispielsweise auch das Aargauer Stromversorgungsunternehmen Swissgrid oder das Energie- und Infrastrukturunternehmen BKW vertreten – letzteres zeigt in seinem Exponat, wie intelligentes Wohnen der Zukunft den Energieverbrauch reduzieren kann.

Für die Forschung, wie sie am PSI betrieben wird, bietet die Joint-Initiative ES4T ganz neue Möglichkeiten: «Diese Plattform hilft uns, Energiethemen einer breiten Öffentlichkeit näherzubringen – und damit das Verständnis für die Wichtigkeit und Dringlichkeit des Umbaus unserer Energieversorgung zu stärken: Weg von fossilen, hin zu erneuerbaren Energien»,

erklärt Christian Bauer, Umweltwissenschaftler am PSI-Labor für Energiesystemanalysen. Auch Mirjam van Daalen, Leiterin der PSI-Kommunikation betont: «Durch diese gemeinsame Initiative bringen wir koordiniertes, gebündeltes Wissen aus unserer Forschung im ETH-Bereich zu einem Familienpublikum.»

Martin Bütikofer, Direktor des Verkehrshauses, begründete bereits bei der Eröffnungsfeier des House of Energy, wie das Thema Energie zum Museum passt: «Wir hätten uns auch dafür entscheiden können, ein neues Haus für alte Lokomotiven zu bauen. Es gäbe auch unzählige alte Velos, die wir noch nicht haben», zitierte ihn damals die Luzerner Zeitung mit einem Augenzwinkern. «Das sind alles tolle Hobbys. Nur bringen sie uns als Gesellschaft nicht weiter. Dabei hat Energie zu hundert Prozent mit Mobilität zu tun.»

Energie als Antriebsform bildet jedoch nur einen Teilaspekt der Ausstellung. Sie beleuchtet auch aktuelle Themen wie Klimaerwärmung, Klimaschutz oder die künftige Sicherstellung der Energieversorgung. Ein Hologramm des Schweizer Umweltpioniers

Bertrand Piccard nimmt uns beispielsweise mit auf eine animierte Reise in ein erneuerbares Energiesystem der Schweiz im Jahre 2050. Ein digitaler Globus visualisiert den Zusammenhang zwischen der Energienutzung der Menschen und den Auswirkungen auf das Klima und den Planeten.

Die Kunst des Vermittelns

Doch wie lassen sich komplexe wissenschaftliche Themen altersgerecht einem breiten Publikum vermitteln? «Experience Energy konnte in den ersten drei Monaten 200 000 Besuchende erreichen – das ist eine beeindruckende Sichtbarkeit», so Alicia Siliézar. «Vor allem Grosseltern mit ihren Enkelkindern kommen zu uns – und das ist die grosse Herausforderung: Wie kreieren wir Exponate und Workshops, die einen so grossen Altersunterschied abdecken?»

Ein Patentrezept für das perfekte Exponat existiert nicht. «So etwas entsteht in der Zusammenarbeit», erklärt Siliézar. «Wir als Institutionen liefern die Ideen, diskutieren sie durch und suchen mit dem Verkehrshaus nach einer ansprechenden Umsetzung.»

So entstand auch der Emission Explorer: Basierend auf einer wissenschaftlichen Studie der EMPA einigte sich die Initiative auf die fünf Alltagsfragen. «In der Diskussion entstand dann die Idee, das dabei entstehende Kohlendioxid (CO₂) in einem Ballon zu fangen und dadurch zu visualisieren», so Siliézar.

Der erste Prototyp bestand aus einem einfachen Schuhkarton, der über ein Hydrauliksystem einen physischen Ballon aufpumpte und den Besuchenden das darin gesammelte bildhafte «Kohlendioxid» ins Gesicht pustete. «Im weiteren Verlauf einigten wir uns darauf, den Ballon digital auf dem Bildschirm zu zeigen», erinnert sich Siliézar. «Das Hydrauliksystem – die Pumpen, die es zu betätigen gilt – sind jedoch geblieben. Denn nebst einer einfach zu verstehenden Message wollen die Besuchenden auch etwas zum Anfassen haben», schmunzelt Siliézar.

Eigene Expertisen miteinbringen

Nicht nur die Wissenschaft gilt es zu vermitteln; in einer so bunten Joint-Initiative ist auch intern Kommunikationstalent gefragt: «Es ist das erste Mal, dass eine solche Kooperation mit all den unterschiedlichen Perspektiven und Bedürfnissen der beteiligten Institutionen angestrebt wird. Wir haben in dieser Zusammenarbeit viel voneinander gelernt, um spannende Exponate und Workshops zu realisieren», so Siliézar.

Ein wichtiger Teil von ES4T ist es auch, Live-Events vor Ort zu gestalten: «In Zusammenarbeit mit dem iLab, dem Schülerlabor des PSI, konnten wir während der Energy Days – dem Themenwochen-



«Durch diese gemeinsame Initiative bringen wir koordiniertes, gebündeltes Wissen aus unserer Forschung im ETH-Bereich zu einem Familienpublikum.»

Mirjam van Daalen, Leiterin der PSI-Kommunikation

ende zu erneuerbaren Energien im Verkehrshaus – einen Workshop organisieren. An diesem dreitägigen Event durften die Kids selber Hand anlegen und unter der Anleitung von Fachpersonen und Forschenden des PSI einfache Experimente durchführen.»

Auch bei der Gestaltung der Exponate ist viel Kreativität gefragt: «Im Moment arbeiten wir an einem Diorama – ein Schaukasten bestehend aus mechanischen und digitalen Elementen. In vier Geschichten, die den Jahreszeiten entsprechen, lernen die Besucherinnen und Besucher etwas über verschiedene Formen der Energiespeicherung in einem flexiblen Energiesystem. Hier übernehmen wir vom PSI den Lead», so Siliézar. Gleichzeitig arbeitet die ETH Zürich an einem interaktiven Exponat für die ganz Kleinen, das verschiedene Energieformen erlebbar macht. «Das soll vor allem ein sehr junges Publikum ansprechen – und gleichzeitig sollen auch die Betreuungsperson etwas dabei lernen.»

Die «Experience Energy!»-Ausstellung wächst: Neben dem persönlichen CO₂-Fussabdruck dürfen die Besuchenden bald noch mehr über die spannende Energieforschung im ETH-Bereich erfahren. ●

Aktuelles aus der PSI-Forschung

1 Pekings Smog entschlüsselt

Luftverschmutzung verursacht jährlich weltweit mehrere Millionen Todesfälle. In der chinesischen Hauptstadt Peking gelang es durch lokale und regionale Massnahmen bereits, die Luftqualität zu verbessern – doch noch nicht ganz im erhofften Masse.

Forschende des PSI, der Beijing University of Chemical Technology und der Universität Helsinki haben nun gemeinsam ein neues Verfahren angewendet, um den Smog in der Stadt besser zu untersuchen. Mit einem neuartigen Massenspektrometer konnten sie den Feinstaub auf molekularer Ebene in Echtzeit analysieren und so seine Quellen und seine Entstehung in bislang unerreichtem Detail verstehen.

Ihr Ergebnis: Je nach Jahreszeit stammt der sogenannte sekundäre organische Feinstaub – Schwebeteilchen, die sich auf dem Weg durch die Atmosphäre gebildet haben – aus unterschiedlichen Quellen. Im Winter sind die Verbrennung von Holz und Kohle hauptsächlich in der Grossregion Peking-Tianjin-Hebei verantwortlich. Im Sommer bei Luftströmungen aus dem Süden herrschen hingegen städtische Emissionen zum Beispiel aus dem Verkehr und der Industrie vor, die vermutlich aus dem noch grösseren Gebiet Xi'an-Shanghai-Peking stammen. Damit ist klar: Die Ursachen der Luftverschmutzung liegen nicht nur in der Metropole selbst, sondern reichen Hunderte von Kilometern darüber hinaus.

Weitere Informationen:
<https://bit.ly/43jLeeN>



2 ESA in der Schweiz

Die Europäische Weltraumorganisation ESA hat einen neuen Anknüpfungspunkt in der Schweiz: Das «European Space Deep-Tech Innovation Centre» ESDI wurde gemeinsam mit dem PSI gestartet. Es hat seinen Standort im Switzerland Innovation Park Innovaare, in direkter Nachbarschaft des PSI.

Eine Vertragsunterzeichnung zwischen ESA und PSI definiert auch eine erste Plattform des ESDI: Das Phi-Lab, welches ans PSI angebunden ist und Instrumente zur Innovationsförderung schafft. Es erstellt Forschungsprogramme, die neue und innovative Projekte in der Schweiz fördern und finanziell unterstützen. Das erste Programm startet 2025 und konzentriert sich auf technologische Entwicklungen in den Bereichen Quantenforschung, Datenwissenschaften sowie Materialforschung.

Das ESDI wurde durch das Schweizerische Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBFI angestossen und erhält ab 2025 Unterstützung vom ETH-Bereich.

Weitere Informationen:
<https://bit.ly/4i2fMpV>



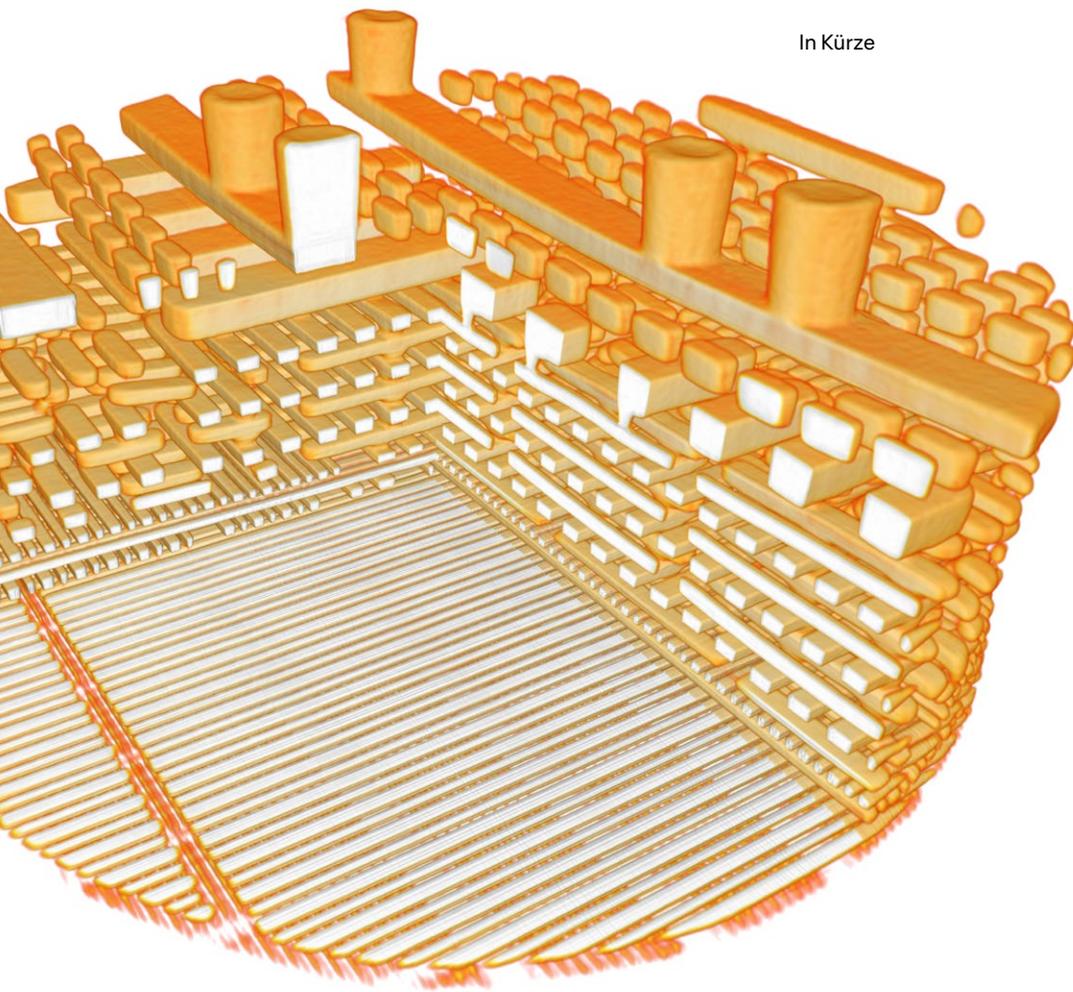
3 92 Millionen Jahre

Um die Bildung von Asteroiden und Planeten zu erklären oder um das Alter von Gesteinen zu datieren, ist es auch wichtig, die Halbwertszeit des Elements Samarium-146 möglichst genau zu kennen. Ein neues Forschungsergebnis hat nun den bisher genauesten Wert ergeben: $92,0 \pm 2,6$ Millionen Jahre. So lange dauert es, bis die Hälfte dieses radioaktiven Stoffs zerfallen ist. Frühere Messungen, die seit den 1950ern durchgeführt wurden, waren immer wieder zu widersprüchlichen Ergebnissen gekommen.

Da Samarium-146 auf der Erde nicht natürlich vorkommt, sind Experimente und Messungen herausfordernd. Die nun durchgeführte Bestimmung erfolgte in einer Zusammenarbeit des PSI mit der Australian National University. Aus einer an der Schweizer Spallations-Neutronenquelle SINQ am PSI bestrahlten Probe konnten die Forschenden eine winzige Menge Samarium-146 extrahieren – so wenig, dass ein einzelnes Körnchen Puderzucker 10-mal so viel wiegt. Entsprechend dauerten die notwendigen Messungen mehrere Monate. Die Forschenden nutzten modernste Methoden, um die Anzahl der Samarium-146-Atome sowie deren Zerfallsrate exakt zu bestimmen. Darüber liess sich die Halbwertszeit berechnen.

Weitere Informationen:
<https://bit.ly/4gW1LJ6>





4 Nanometer – das sind 4 millionstel Millimeter – beträgt die Bildauflösung, die mit dem neuen Ptychografieverfahren erreicht wurde.

15 Millionen Detektorbilder wurden erzeugt, um den Chip dreidimensional zu rekonstruieren.

100 Millionen Transistoren finden in modernen Computerchips auf einem Quadratmillimeter Platz.

4 Neuer Röntgenweltrekord

Einen hochmodernen Computerchip mit einer Auflösung von 4 Nanometern dreidimensional abzubilden – dieser Weltrekord in der Röntgenmikroskopie gelang Forschenden des PSI in Zusammenarbeit mit der ETH Lausanne EPFL, der ETH Zürich und der University of Southern California.

Computerchips sind Wunderwerke der Technik. Heutzutage ist es möglich, mehr als 100 Millionen Transistoren pro Quadratmillimeter in modernste integrierte Schaltkreise zu packen – Tendenz steigend. In Reinräumen werden mit hochautomatisierten Optikanlagen die nanometergrossen Leiterbahnen in Silizium-Rohlinge geätzt. Was nach einer aufwendigen und komplexen Produktion klingt, erweist sich in der Charakterisierung und Abbildung der erzeugten Strukturen als genauso schwierig.

Um diese winzigen Strukturen sichtbar zu machen, setzten die Forschenden anstelle von herkömmlichen Linsen auf die sogenannte Ptychografie – ein Computerverfahren, das viele Einzelbilder zu einer hochauflösenden Abbildung vereint. Durch kürzere Belichtungszeiten und einen optimierten Algorithmus konnten sie ihren eigenen Weltrekord aus dem Jahr 2017 deutlich übertreffen. Für ihre Experimente nutzten sie das Röntgenlicht der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS.

Weitere Informationen:
<https://bit.ly/43fXgWz>



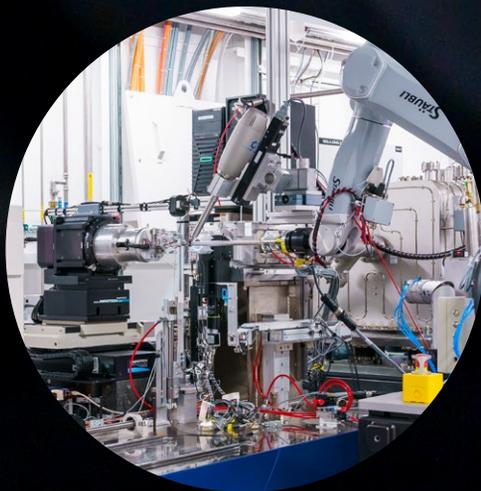
Kelvin: Die Skala der Kälte

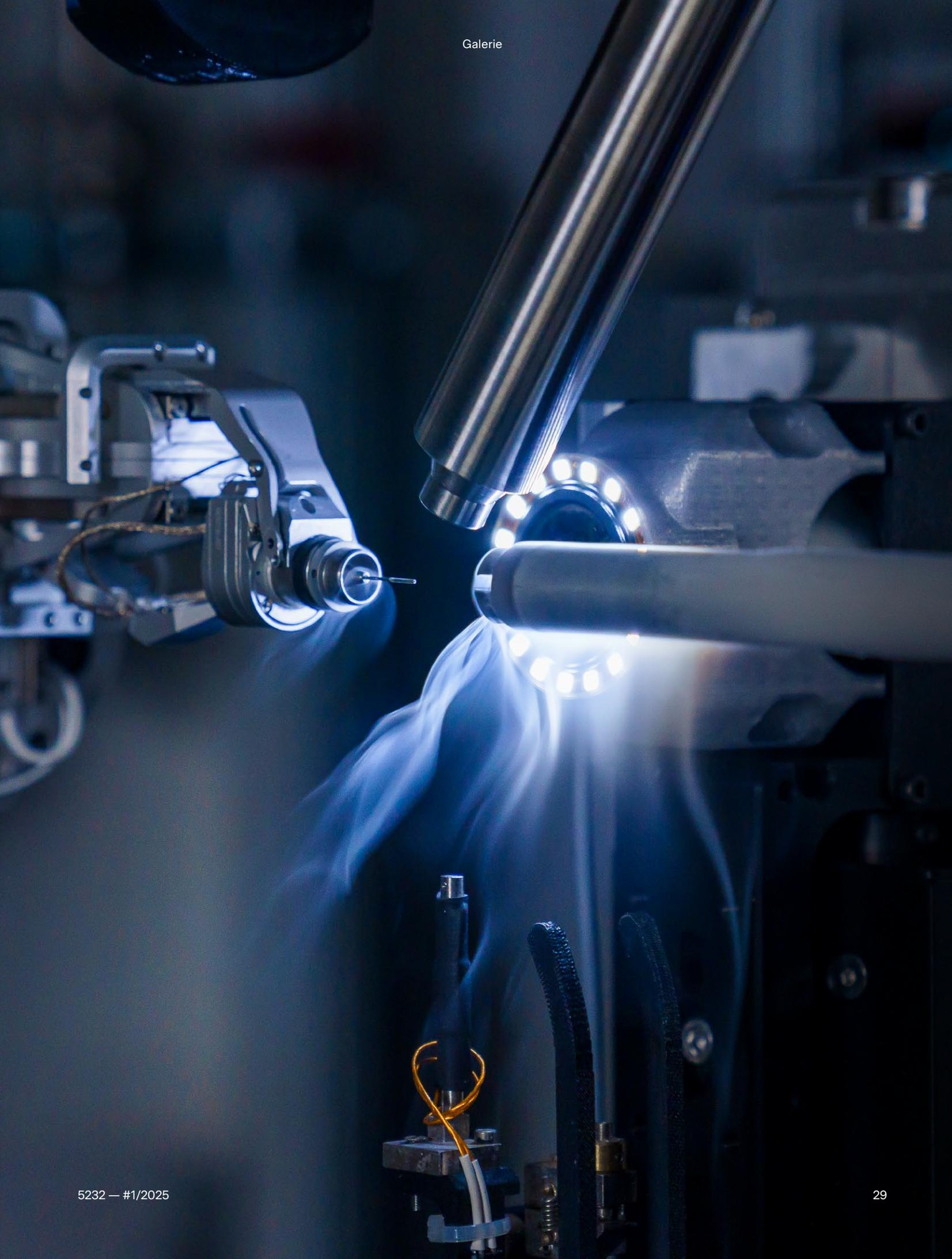
Null Kelvin – das ist der absolute Temperatur-Nullpunkt. Denn Wärme ist Energie, Kälte bedeutet weniger Energie, doch es kann niemals negative Energie geben. In der uns geläufigen Temperaturskala ausgedrückt liegen null Kelvin bei $-273,15$ Grad Celsius: Nichts kann kälter werden als das. Einige Forschende am PSI führen Tieftemperatur-Experimente nahe diesem Nullpunkt durch; andere tüfteln an technischen Möglichkeiten, um die Temperatur möglichst effizient zu senken.

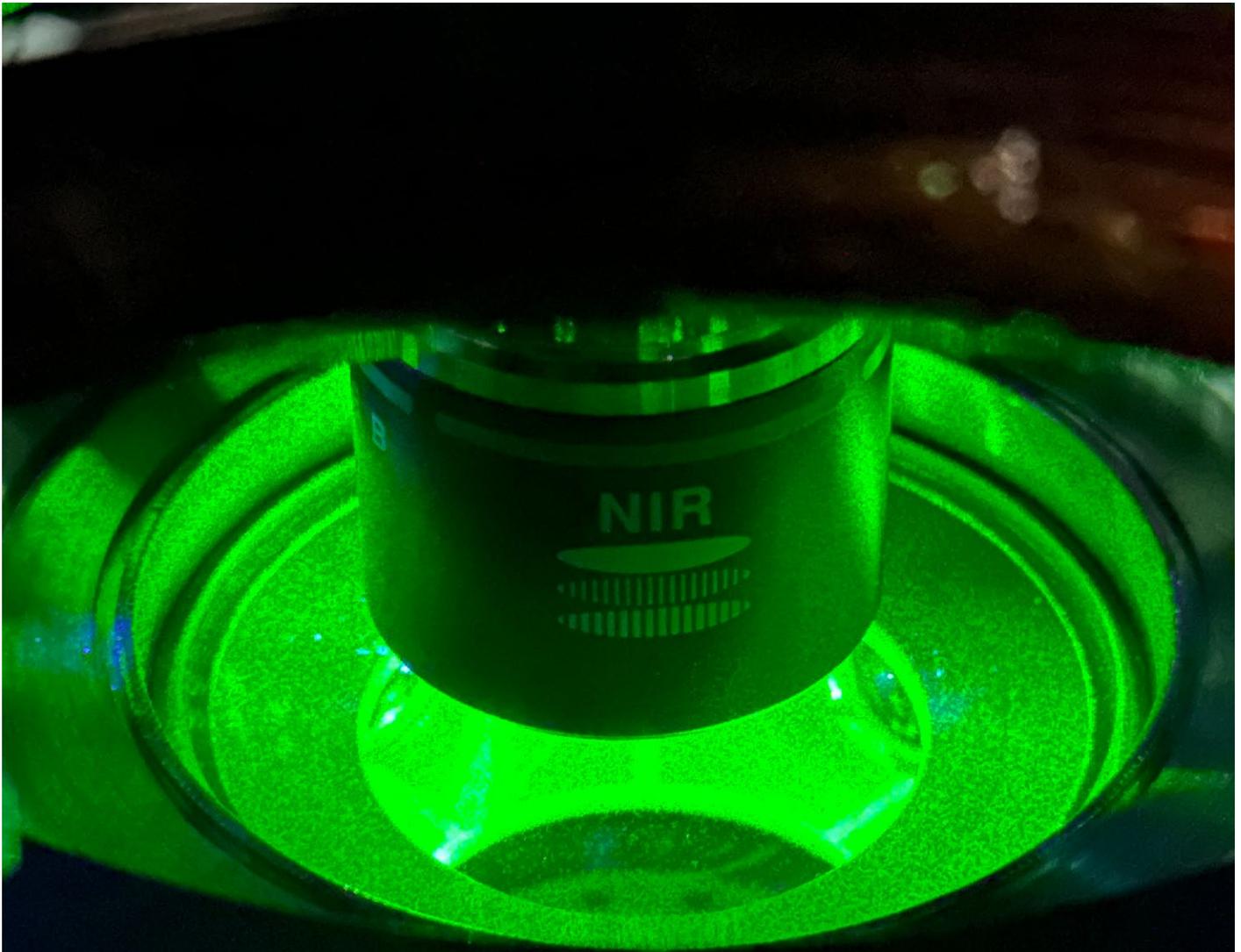
Text: Christian Heid

Proteinprobe

Eiskristalle lassen sich am Ende des Roboterarms auf dem röhrenförmigen Probenhalter erahnen, der vom rechten Bildrand her horizontal bis vor den Lichtkranz gefahren ist: Der Roboter holt automatisch Proteinproben aus einem Bad mit kühlendem flüssigem Stickstoff und transportiert sie zur Experimentierposition, die sich wie eine Nadel gegenüber dem Probenhalter befindet. Die Proteinkristalle werden anschliessend mit Röntgenlicht der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS bestrahlt. Aus dem Beugungsmuster lässt sich dann die dreidimensionale Struktur des Proteins errechnen. Die Forschenden gewinnen so Einblicke in die molekulare Architektur und damit in die Funktionsweise der Proteine.

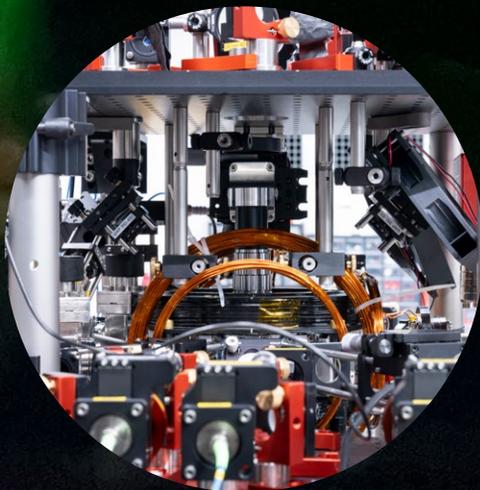






Kalte Atome

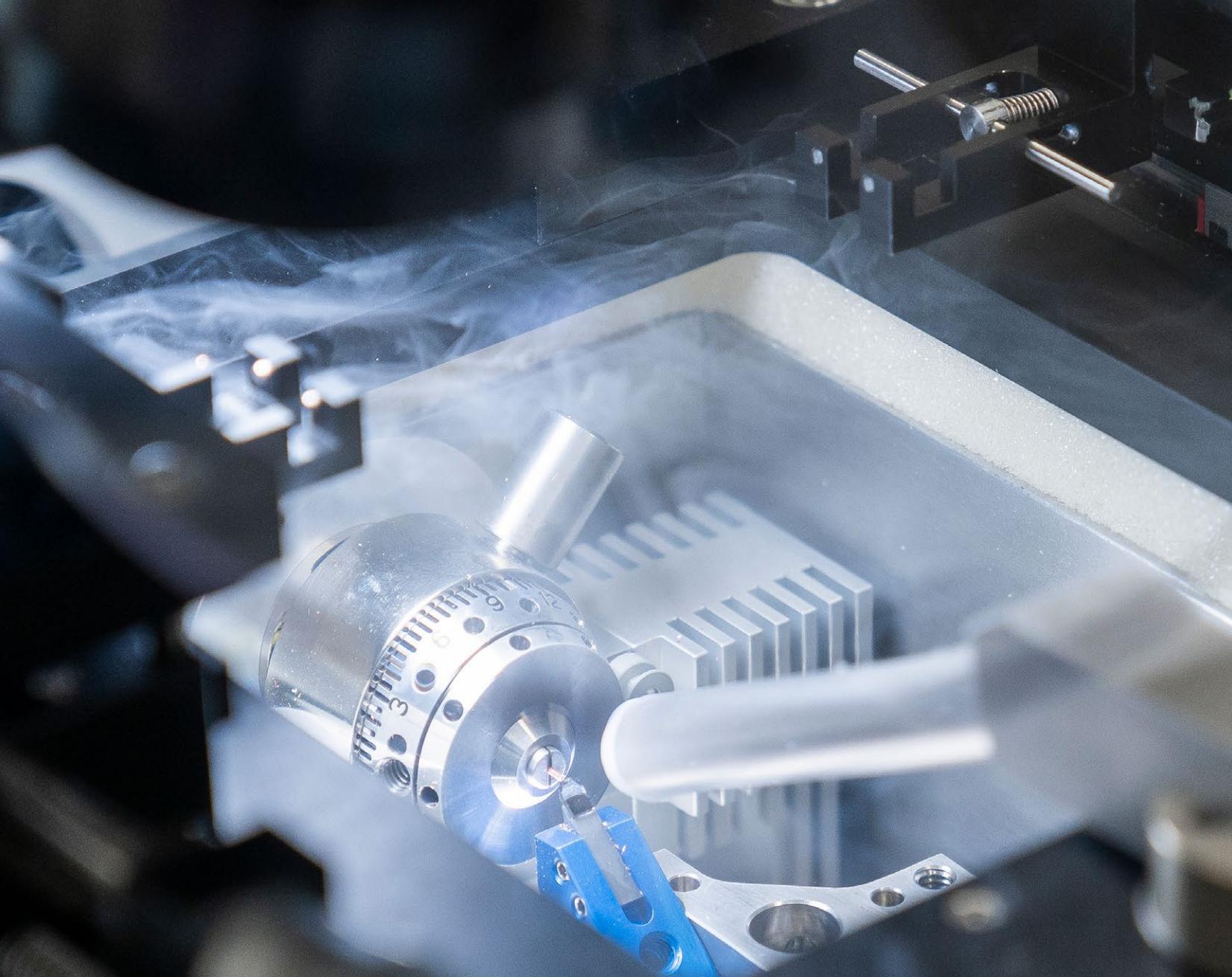
Grünliches Licht verbreitet sich aus der luftleeren Experimentierkammer. Darin befinden sich Atome, die abgekühlt werden sollen. Das grüne Licht stammt von einem Laser und es trifft genau abgestimmt auf die Atome. Wenn sie die Energie einzelner Lichtpakete aufnehmen, geben sie direkt danach mehr Energie ab – und werden dadurch jedes Mal noch kälter als zuvor. Das Prinzip heisst Laser Cooling. Es bringt die Atome bis nahe an den absoluten Temperatur-Nullpunkt von $-273,15$ Grad Celsius. Dadurch wird ihre Quantennatur erfassbar und kann analysiert werden. Im Zentrum für Photonenforschung werden auf diese Weise neue Einblicke auf dem Forschungsgebiet der Quantenmechanik gewonnen.



Pulsierende Wärmerohre

In diesen silbrig erscheinenden, feinen Wärmerohren befindet sich eine zweiphasige Strömung aus Helium oder Neon; das heisst, die Stoffe liegen teils gasförmig und teils flüssig vor. Die senkrecht angeordneten Röhrcchen sind an ihrem unteren Ende mit einer Wärmequelle verbunden. Am oberen Ende der Rohre ist ein Kondensator an einen Kryokühler angeschlossen: ein Kühlgerät, das gleichbleibende tiefe Temperaturen von unter -240 Grad Celsius ermöglicht. In diesem Design als sogenannte Pulsating Heat Pipes erzeugt die Strömung des Heliums beziehungsweise des Neons eine effiziente passive Wärmeübertragung. Eine solche thermische Verbindung ist ein Schlüsselement für die Optimierung von supraleitenden Systemen, die auf tiefe Temperaturen gekühlt werden müssen. Die Entwicklung und Anwendung dieser Anordnung ist Teil der gemeinsamen Bemühungen der Magnetsektion des PSI und der Firma VDL ETG (siehe Seite 20).



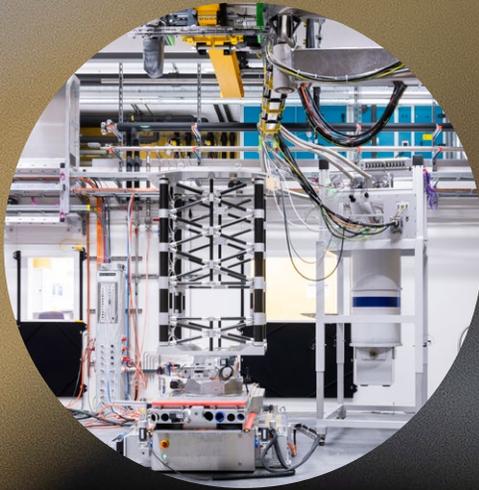


Gewebeschnitte

Kalter Stickstoffnebel umschwebt das Innere eines Mikrotoms, eines Schneidegeräts, mit dem Schnittpräparate hergestellt werden. In einer blauen Halterung ist ein Diamantmesser befestigt. Direkt hinter der Schnittfläche des Messers befindet sich die sehr kleine, gefrorene Gewebeprobe, die in einer Art Bohrfutter fixiert ist. Die Probe wird auf und ab bewegt, während sich das Messer in Richtung Probe schiebt, sodass ultradünne Schnitte entstehen, typischerweise zwischen 50 und 150 Nanometer dünn. Die Probe muss sehr kalt sein, um sie in ihrem natürlichen Zustand in amorphem Eis zu erhalten: -150 Grad Celsius. Im Labor für biomolekulare Forschung werden die hauchdünnen Gewebepreparate genutzt, um physiologische Prozesse zu verstehen. Von da aus können dann neue therapeutische Möglichkeiten erkundet werden.



Quantenmaterial



In diesem zwei Meter grossen, weltweit einzigartigen Kryostaten – ein Kühlgerät, das Temperaturen nahe am absoluten Nullpunkt erreicht – befindet sich ein Quantenmagnet. Seine Eigenschaften werden hier am Freie-Elektronen-Röntgenlaser SwissFEL mithilfe von Röntgenlicht untersucht. Bei sehr tiefen Temperaturen von rund 1 Kelvin und darunter nimmt das Quantenmaterial einen magnetischen Zustand an, der über die Streuung der Röntgenstrahlen direkt abgebildet werden kann. Hier geht es beispielsweise um den Einfluss von Quanteneffekten auf magnetische Domänen sowie deren dynamische Kontrolle durch Mikrowellenpulse.



Anwältin der Spitzentechnologie

Die ehemalige PSI-Doktorandin Stephanie Smit arbeitet als Patentanwältin für eine Firma, die zu den bedeutendsten der Welt gehört. Denn diese Firma baut Maschinen, die ein Vermögen wert und heiss begehrt sind.

Text: Jan Berndorff

Nicht jedes bedeutende Unternehmen ist auch der breiten Öffentlichkeit bekannt. Im aktuellen Ranking der wertvollsten Firmen der Welt liegen Apple und Microsoft mit jeweils über drei Billionen US-Dollar Marktwert an der Spitze. Aber die Geschäfte der beiden ruhmreichen Hightech-Konzerne hängen auf Gedeih und Verderb von einem Unternehmen ab, das seinen Hauptsitz im beschaulichen Veldhoven in den Niederlanden hat und für das die ehemalige PSI-Doktorandin Stephanie Smit seit nunmehr fünf Jahren arbeitet. Es gehört zwar nicht zu den teuersten Unternehmen der Welt, aber mit einem Marktwert im Bereich einer Viertel Billion US-Dollar immerhin zu den Top Five in Europa. Erstaunlicherweise ist es den meisten Menschen dennoch völlig unbekannt.

ASML? «Als ich mich für den Job hier bewarb, hatte ich zuvor ehrlich gesagt auch noch nie davon gehört», sagt Smit. ASML wurde 1984 als Joint Venture von Philips und ASM International gegründet und ist zuletzt enorm gewachsen: Seit 2019 hat sich der Umsatz auf knapp 28 Milliarden US-Dollar pro Jahr verdoppelt und der Gewinn auf knapp acht Milliarden US-Dollar mehr als verdreifacht. Weltweit hat ASML über 43 000 Mitarbeitende. Allein am Hauptsitz arbeiten 23 000 Menschen.

Dass die Firma trotzdem kaum jemand kennt, liegt daran, dass sie nicht für Endverbraucher produziert. Ihre Abnehmer sind grosse Mikrochipproduzenten wie Intel, Samsung und TSMC, die wiederum an Tech-Unternehmen wie Microsoft und Apple liefern. Denn ASML stellt Maschinen her, mit denen man wesentliche Teile von Mikrochips «drucken» kann – das Verfahren nennt sich Lithografie. Und Mikrochips sind gefragt denn je. Denn sie stecken in Computern, Handys, Tablets und fast jedem smarten Elektrogerät. Sie sind der Grundbaustein der modernen digitalen Welt.

In der Branche ist ASML nicht irgendjemand. Sondern Weltmarktführer für Lithografie-Maschinen. «ASML ist der Konzern, von dem die Welt abhängig ist» titelte 2023 die österreichische Zeitung Der Standard.

In dieser Firma also sorgt Stephanie Smit als Patentanwältin dafür, dass die neuen Ideen und

Technologien rechtlich geschützt werden. Wie aber kommt eine ehemalige PSI-Forscherin, die sich mit Nanofabrikation beschäftigt hat, dazu, Anwältin zu werden?

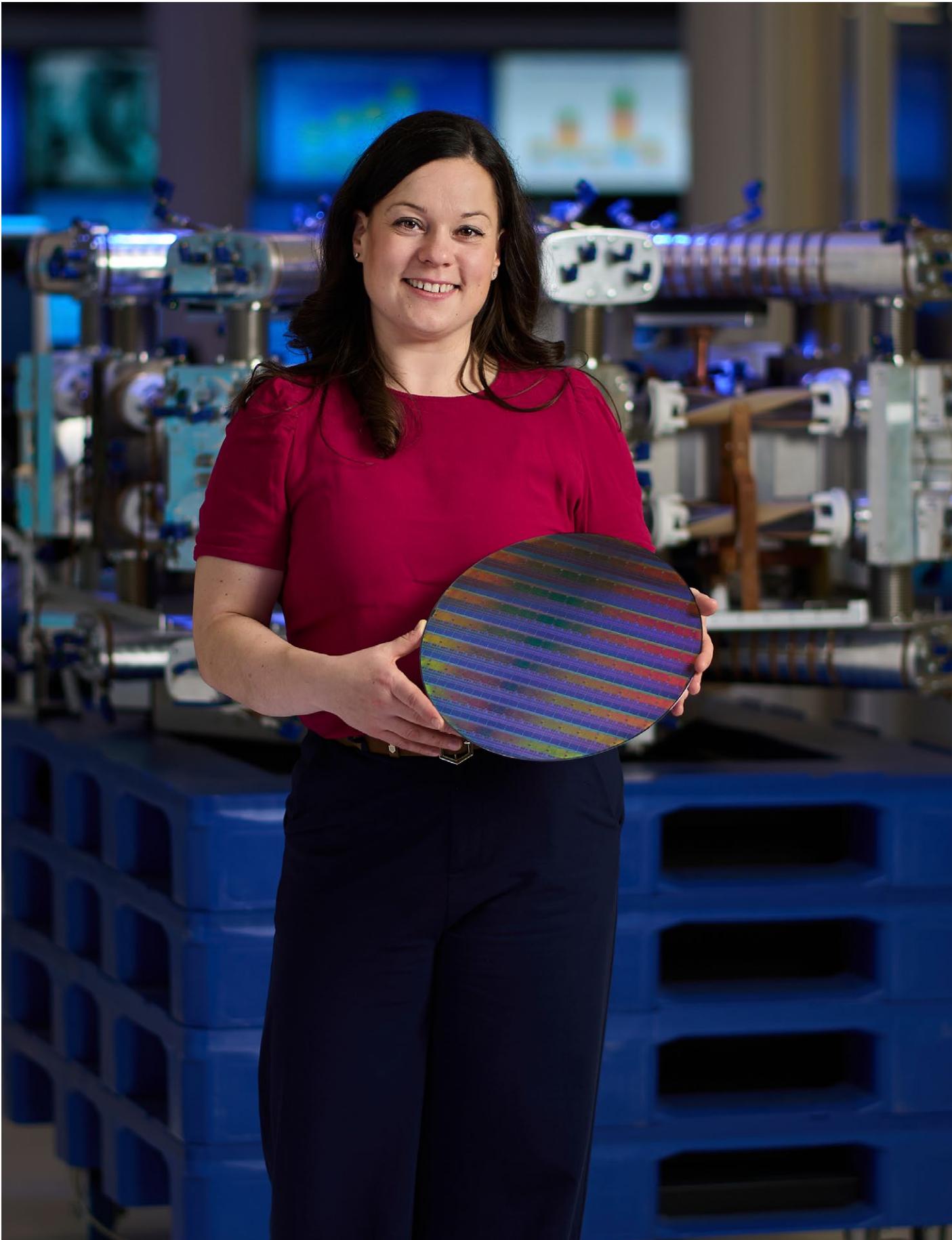
Eine Anwältin ist nicht unbedingt eine Juristin

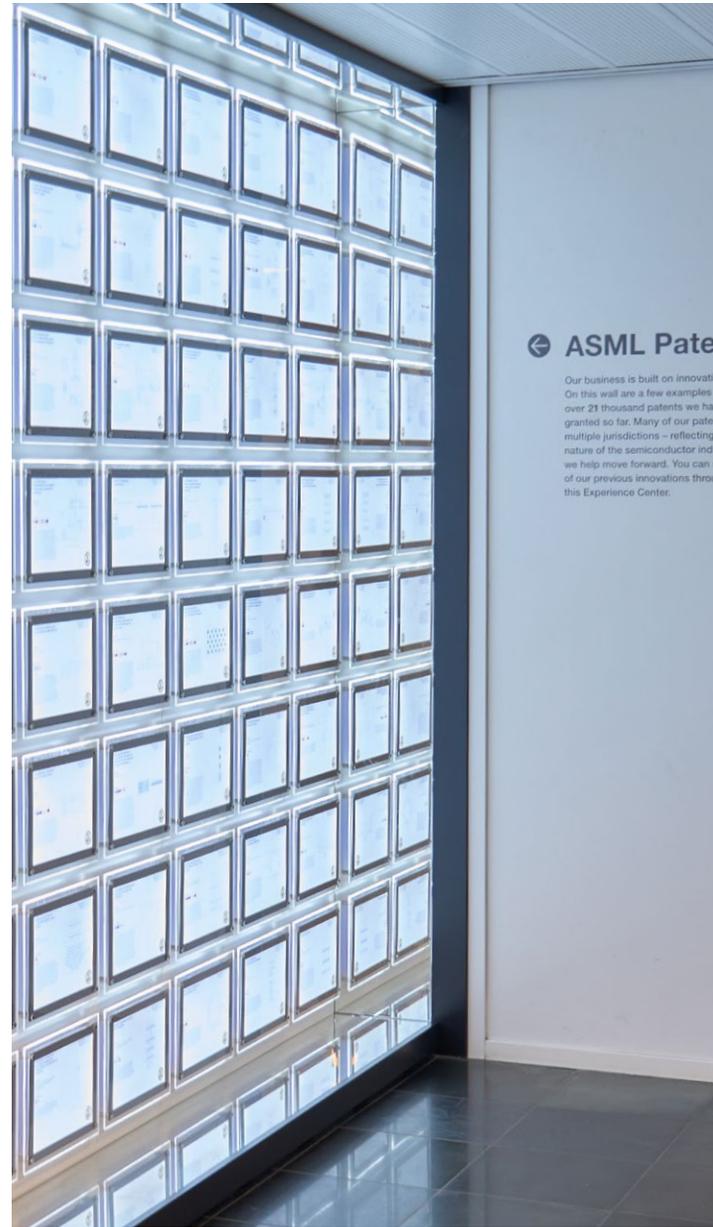
«Es ist ein weitverbreitetes Missverständnis, dass Patentanwälte Juristen sind», erklärt Smit. Natürlich müsse man sich mit Patentrecht auskennen. Doch ebenso wichtig ist der wissenschaftliche Hintergrund: Patentanwälte müssen die Forschung und Technologie hinter den Produkten verstehen, um die Innovation sozusagen in die juristische Sprache eines Patents übersetzen zu können. «Und dafür waren mein Studium der Physik, vor allem aber meine Arbeit am PSI, die denkbar beste Vorbereitung», sagt Smit.

Studiert hat Smit, die auf den Shetlandinseln aufgewachsen ist, in der schottischen Stadt Aberdeen. «In die Wiege gelegt hat mir die Begeisterung für Physik und Technik wohl mein Vater», sagt sie. Er war begeisterter Hobbypilot und vermittelte seiner Tochter die Faszination der Luftfahrttechnik. «Ich habe auch den Flugschein gemacht, mich aber dann für etwas Bodenständigeres entschieden und Physik studiert.»

Gleichzeitig interessierte sich Smit für Sprachen und Kulturen. Nach dem Vordiplom ging sie für ein Jahr nach Krakau, um in die polnische Kultur einzutauchen. Neben Englisch und etwas Polnisch beherrscht sie heute Französisch, Deutsch und Niederländisch. Für ihre Arbeit als europäische Patentanwältin ist diese internationale Gewandtheit in Verbindung mit ihrer offenen, kommunikativen Art von grossem Vorteil. Schliesslich muss sie die Patente im Austausch mit Fachpersonen aus verschiedenen Ländern sichern.

Ihre Zeit in Krakau veranlasste sie, nach Abschluss des Studiums ein Praktikum ebenfalls im Ausland zu machen. «Ich habe mich bei der Organisation IAESTE, die technisch-naturwissenschaftliche Auslandspraktika vermittelt, auch in Japan und Kanada beworben, doch meine erste Wahl war das PSI in der Schweiz. Denn dort wird an vorderster Front geforscht.» Zumal ihr angeboten wurde, an einem komplexen Thema handfest mitzuarbeiten: In der





«Von der Hightech-Forschung in die Hightech-Industrie ist es nicht so weit.»

Stephanie Smit, Patentanwältin ASML

ptychografischen Bildgebung, bei der eine Probe mit einem Teilchenstrahl abgetastet und so mikroskopiert wird, sollte Smit eine spezielle Laserkonfiguration eigenständig aufbauen. «Darüber wusste ich von meinem Studium her wenig, aber meine Kolleginnen und Kollegen haben mich sehr unterstützt.»

Es sei spannend gewesen, bei einem völlig neuen Forschungsansatz mitzuhelfen. Und auch abseits der Arbeit genoss sie ihre Zeit in der Schweiz, unternahm viel mit anderen Praktikanten und Studentinnen und lernte nicht zuletzt ihren heutigen Ehemann aus den Niederlanden kennen, ebenfalls PSI-Praktikant.

Promotion an der Synchrotron Lichtquelle Schweiz

Nachdem beide ihren Master in Aberdeen abgeschlossen hatten, kehrten sie für ihre Doktorarbeit ans PSI zurück. Stephanie Smit arbeitete nun im Labor für Mikro- und Nanotechnologie und untersuchte die magnetischen Strukturen von Proben mit der Synchrotron Lichtquelle Schweiz SLS. «Ich bin sehr froh über das, was ich am PSI gelernt habe und mir jetzt bei meiner Arbeit hilft. Vor allem aber habe ich viele tolle und brillante Menschen kennengelernt, mit denen ich heute noch in Kontakt stehe.»

Eine jener Kolleginnen war es, die sie auf die Idee mit der Patentanwältin brachte: «Sie meinte, so wie sie mich kenne, würde das zu mir passen. Da musste ich mich erst einmal informieren. Aber in der Tat: Dieser Job entspricht genau meinen Interessen.» Nach der Promotion absolvierte Smit in London ein Aufbaustudium zum Patentwesen an der Queen Mary University und arbeitete für eine Patentanwaltskanzlei. «Allerdings vermisste ich die internationale Forschungsatmosphäre und die Verbindung zur Technologie. Ausserdem hatten mein Mann und ich inzwischen zwei unserer drei Kinder bekommen und wollten sie lieber in den Niederlanden grossziehen.»

Als sie dann erfuhr, dass ASML eine Patentanwältin suchte, sah sie darin ihre Gelegenheit. «Und tatsächlich spürten wir beim Vorstellungsgespräch sofort, dass das gut passt – nicht zuletzt wegen meines Hintergrunds beim PSI: Von der Hightech-Forschung in die Hightech-Industrie ist es eben nicht so weit.»

Über die Maschinen ihres Arbeitgebers sagt Smit: «Die neusten Lithografie-Anlagen gehören wahrscheinlich zu den komplexesten Maschinen, die die Menschheit je erdacht hat.» Sie sind gross wie ein Haus und vollgestopft mit Lasertechnik und optischen Elementen.

Grob gesagt funktioniert Lithografie so, dass hoch konzentriertes Licht durch eine Schablone auf eine millimeterdünne Siliziumplatte leuchtet, «Wafer» genannt. Dabei wird eine Schicht aus Fotolack in winzigen Strukturen fixiert, während der unbelichtete

Rest der Schicht präzise gewaschen wird – oder umgekehrt. Der Vorgang wiederholt sich mehrfach, und am Ende sind auf dem scheinbar spiegelglatten Wafer dicht angeordnete, mikroskopisch kleine Transistoren – die Schaltelemente, mit denen der Mikrochip die Rechenarbeit übernimmt.

Eine Frage der Wellenlänge

Lithografie-Maschinen nutzen UV-Licht, da dessen geringe Wellenlänge präzisere Prägungen ermöglicht als sichtbares Licht. Die Dichte der Transistoren bestimmt die Leistungsstärke des Mikrochips. Angefangen hat ASML mit 2200 Transistoren pro Quadratmillimeter. Heute kommen 45 Millionen auf der gleichen winzigen Fläche unter.

Moderne Geräte arbeiten mit sogenanntem Deep Ultraviolet (DUV), also Licht im tiefen UV-Bereich, meist mit 193 Nanometern Wellenlänge. ASML hat einen Weltmarktanteil von rund 85 Prozent an solchen Maschinen. Doch als einziger Anbieter weltweit bietet ASML seit Neuestem auch EUV-Systeme an. EUV steht für Extreme Ultraviolet und arbeitet bei nur 13,5 Nanometern Wellenlänge – damit sind noch leistungsstärkere Chips möglich.

Die erste EUV-Maschine hat ASML Anfang 2024 an Intel ausgeliefert. Kostenpunkt laut der Nachrichtenagentur Reuters: rund 350 Millionen US-Dollar. Wobei die DUV-Varianten auch nicht viel günstiger sind. Kein Wunder also, dass ASML pro Jahr nur wenige Hundert solcher Geräte verkaufen muss und trotzdem gut damit verdient. Kein Wunder aber auch, dass Privatleute mit solchen Geräten selten in Berührung kommen und ASML daher nicht so bekannt ist wie Microsoft oder Apple.

Und wenig überraschend ist dann auch, dass Stephanie Smit es aufregend findet, die Patente eines solchen Herstellers zu verhandeln – insgesamt hält ASML über 21 000, die alle möglichen Teile und Mechanismen in den Maschinen betreffen. «Jetzt bin ich schon fünf Jahre hier und immer noch überwältigt, für eine Firma zu arbeiten, von der so viel abhängt», sagt Smit. «Ganz besonders gefallen mir aber auch hier die Kolleginnen und Kollegen. Die sind genauso grossartig wie die, die ich am PSI kennenlernen durfte.» ●

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 Institut, das sich über 342 000 Quadratmeter erstreckt, eine eigene Brücke über die Aare besitzt und mit 2300 Beschäftigten mehr Mitarbeitende hat, als so manches Dorf in der Umgebung Einwohner.

Das PSI liegt im Kanton Aargau auf beiden Seiten der Aare zwischen den Gemeinden Villigen und Würenlingen. Es ist ein Forschungsinstitut für Natur- und Ingenieurwissenschaften des Bundes und gehört zum Eidgenössischen Technischen Hochschul-Bereich (ETH-Bereich), dem auch die ETH Zürich und die ETH Lausanne angehören sowie die Forschungsinstitute Eawag, Empa und



WSL. Wir betreiben Grundlagen- und angewandte Forschung und arbeiten so an nachhaltigen Lösungen für zentrale Fragen aus Gesellschaft, Wissenschaft und Wirtschaft.

Komplexe Grossforschungsanlagen

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

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

Um Messzeit für Experimente zu erhalten, müssen sich die Forschenden aus dem In- und Ausland jedoch beim PSI

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

Etwa 1900 Experimente werden an den Grossforschungsanlagen des PSI jährlich durchgeführt. Die Messzeit ist am PSI für alle akademischen Forschenden kostenlos. Nutzer aus der Industrie können für ihre proprietäre Forschung in einem besonderen Verfahren Messzeit kaufen und die Anlagen des PSI für ihre angewandte Forschung verwenden. Das PSI bietet dafür spezielle Forschungs- und Entwicklungsdienstleistungen an.

Insgesamt unterhält das PSI fünf Grossforschungsanlagen, an denen man in Materialien, Biomoleküle oder technische Geräte blicken kann, um die Vorgänge in deren Innerem zu erkunden. Dort «leuchten» die Forschenden bei ihren Experimenten mit unterschiedlichen Strahlen in die Proben, die sie untersuchen wollen. Dafür stehen Strahlen von



800
Fachartikel jährlich, die auf
Experimenten an den Gross-
forschungsanlagen
beruhen

5000
Wissenschaftlerinnen und
Wissenschaftler aus der
ganzen Welt führen jährlich an
diesen Grossforschungs-
anlagen Experimente durch

5
schweizweit einzigartige
Grossforschungsanlagen

Teilchen – Neutronen bzw. Myonen – oder intensivem Röntgenlicht – Synchrotronlicht bzw. Röntgenlaserlicht – zur Verfügung. Mit den verschiedenen Strahlenarten lässt sich am PSI eine grosse Vielfalt an Materialeigenschaften erforschen. Der grosse Aufwand hinter den Anlagen ergibt sich vor allem daraus, dass man grosse Beschleuniger braucht, um die verschiedenen Strahlen zu erzeugen.

Vier eigene Schwerpunkte

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

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

Unsere eigene Forschung konzentriert sich auf vier Schwerpunkte. Auf dem Gebiet Zukunftstechnologien untersuchen wir die vielfältigen Eigenschaften von Materialien. Mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen schaffen wir Grundlagen für neue Anwendungen – sei es in der Medizin, der Informationstechnologie, der Energiegewinnung und -speicherung – oder für neue Produktionsverfahren der Industrie. Ziel der Arbeiten im Schwerpunkt Energie und Klima ist die Entwicklung neuer Technologien für eine nachhaltige und sichere Energieversorgung sowie für eine saubere Umwelt. Ausserdem erforschen wir in diesem Bereich Zusammenhänge innerhalb des Klimasystems der Erde. Im Schwerpunkt Health Innovation suchen Forschende nach den Ursachen von Krankheiten und nach möglichen Behandlungsmethoden. Zudem betreiben wir in der Schweiz die einzige Anlage zur Therapie von spezifischen Krebserkrankungen mit Protonen. Dieses besondere Verfahren macht es möglich, Tumore gezielt zu zerstören und dabei das umliegende Gewebe weitgehend unbeschädigt zu lassen.

Im Schwerpunkt Grundlagen der Natur suchen Forschende nach Antworten auf die fundamentale Frage nach den Grundstrukturen der Materie und den Funktionsprinzipien in der Natur. Sie untersuchen Aufbau und Eigenschaften der Elementarteilchen – der kleinsten Bausteine der Materie – oder klären grundlegende Vorgänge in lebenden Organismen auf. Das so gewonnene Wissen eröffnet neue Lösungsansätze in Wissenschaft, Medizin oder Technologie.

Die Köpfe hinter den Maschinen

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

Impressum

5232 – Das Magazin des Paul Scherrer Instituts PSI

Erscheint zweimal jährlich.
Ausgabe 1/2025 (April 2025)
ISSN 2504-2262

Herausgeber

Paul Scherrer Institut
Forschungsstrasse 111
5232 Villigen PSI
www.psi.ch

Redaktionsteam

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

Art Direction und Design

Studio HübnerBraun

Corporate Design

Scholtysik & Partner AG

Fotos

Paul Scherrer Institut PSI/
Markus Fischer,
ausser: Seiten 35, 36: Henning Mack;
Seite 41: Adobe Stock.

KI-Bildgeneration

Seite 15: Adobe Stock (KI);
Seite 10: Midjourney durch Studio
HübnerBraun.

Illustrationen und Grafiken

Studio HübnerBraun,
ausser: Seiten 6, 7: Daniela Leitner;
Seiten 16, 17, 20: Mahir Dzambegovic.

Mehr über das PSI lesen Sie auf:

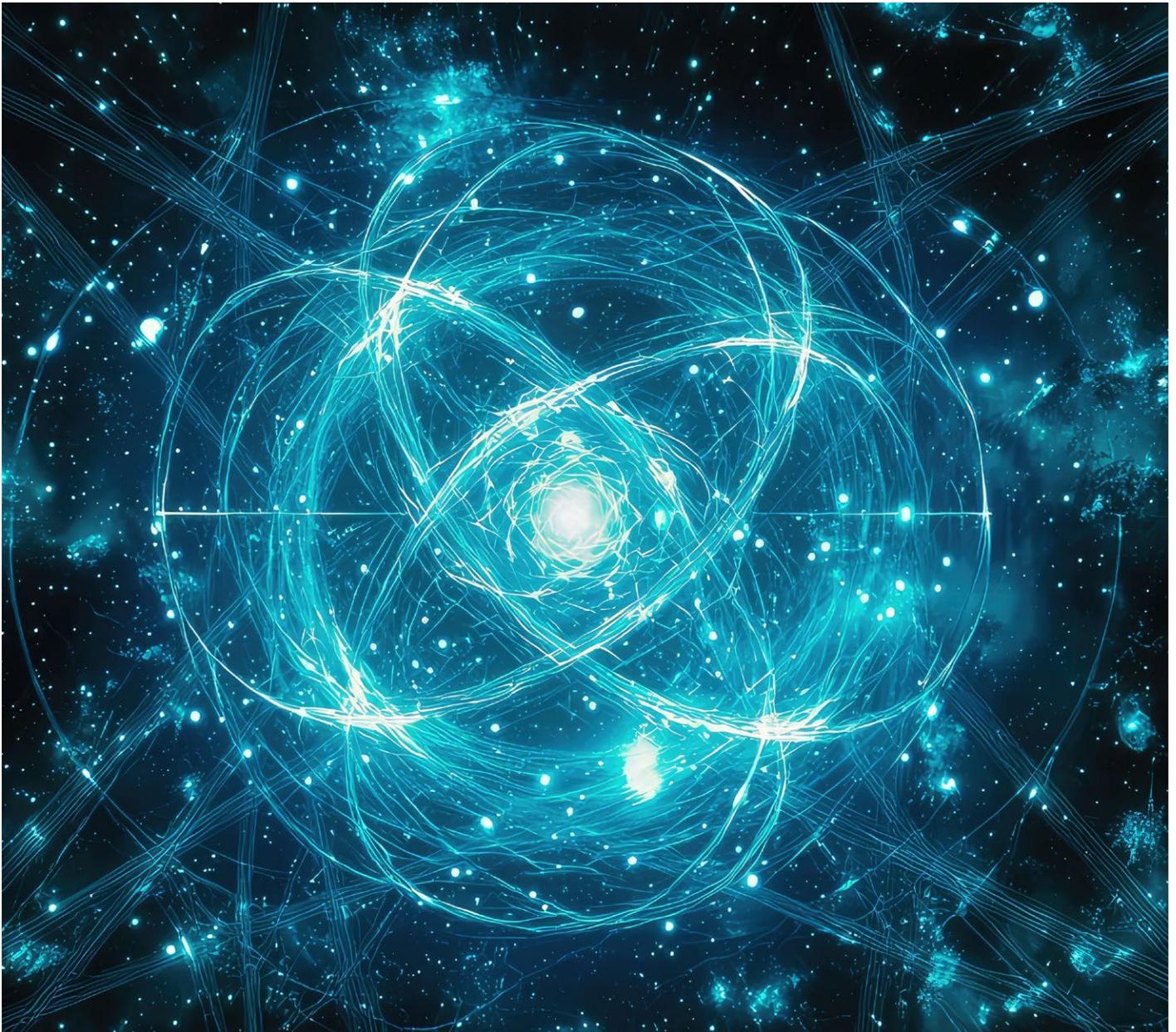
www.psi.ch

5232 steht im Internet zur Verfügung und kann kostenlos abonniert werden unter

www.psi.ch/de/5232

5232 ist auch auf Englisch und Französisch erhältlich

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



Das erwartet Sie in der nächsten Ausgabe

Vor 100 Jahren entdeckte die Menschheit, wie sich die Natur im Kleinsten verhält und beschreiben lässt: 1925 war das Geburtsjahr der Quantenmechanik. Mit dieser physikalischen Theorie lassen sich die Gesetzmässigkeiten auf der Ebene der Atome und darunter in mathematischen Formeln darstellen, sodass Vorhersagen möglich werden.

Inzwischen ist die Quantenmechanik ein zentraler Bereich der modernen Physik und hat unzählige Entwicklungen und Technologien angestossen. Ihre Effekte werden in den modernen Experimenten genutzt, auch am PSI. Der Weg zu Quantencomputern wird beschritten. Die Quanten-Eigenschaften von neuartigen Materialien werden untersucht und könnten die Grundlage künftiger Technologien bilden. Und sogar bei der Entwicklung von Pharmazeutika hilft die Quantenmechanik.



Paul Scherrer Institut PSI
Forschungsstrasse 111
5232 Villigen PSI
Schweiz
www.psi.ch