

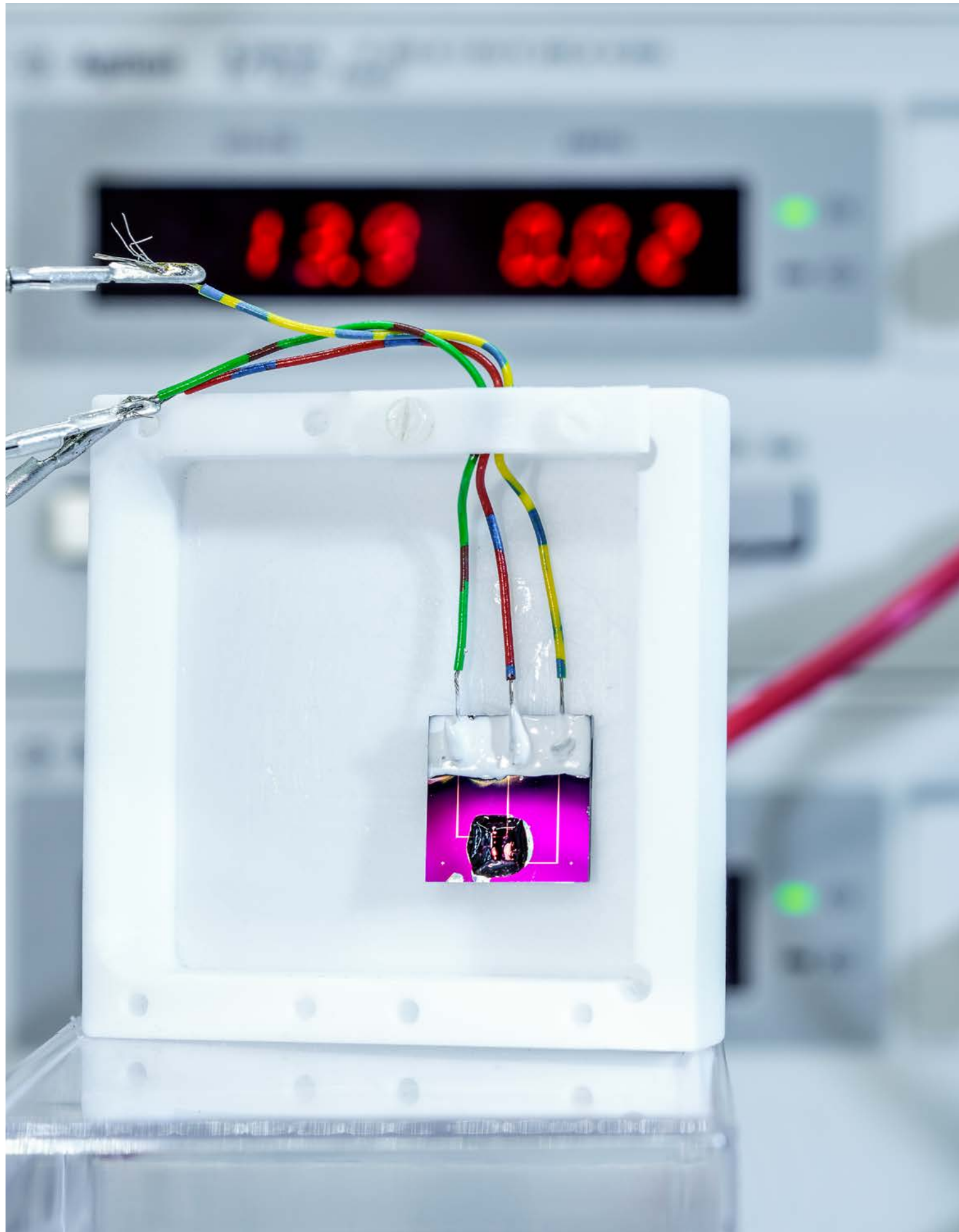


WSS

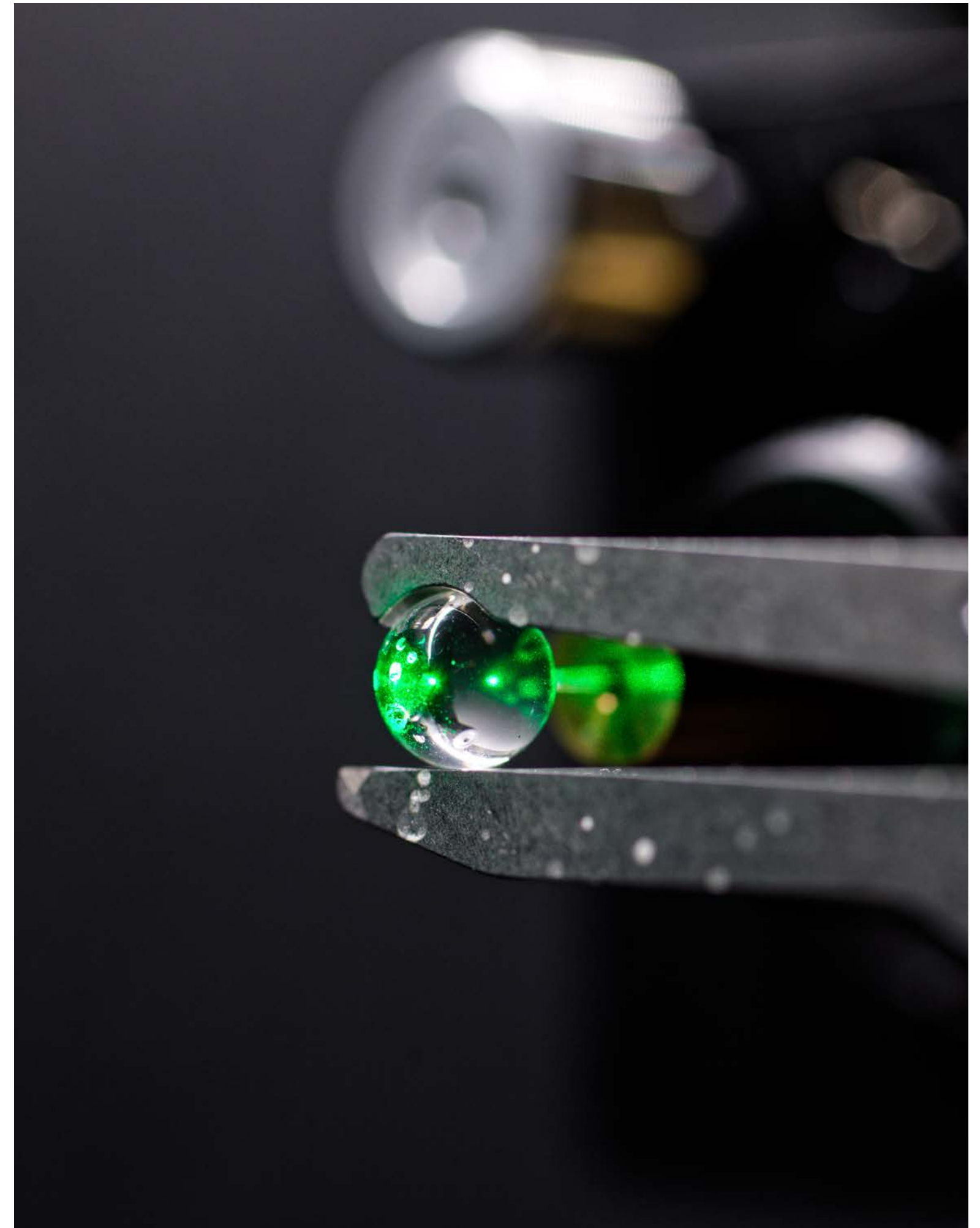
WERNER SIEMENS-STIFTUNG

Was wir fördern

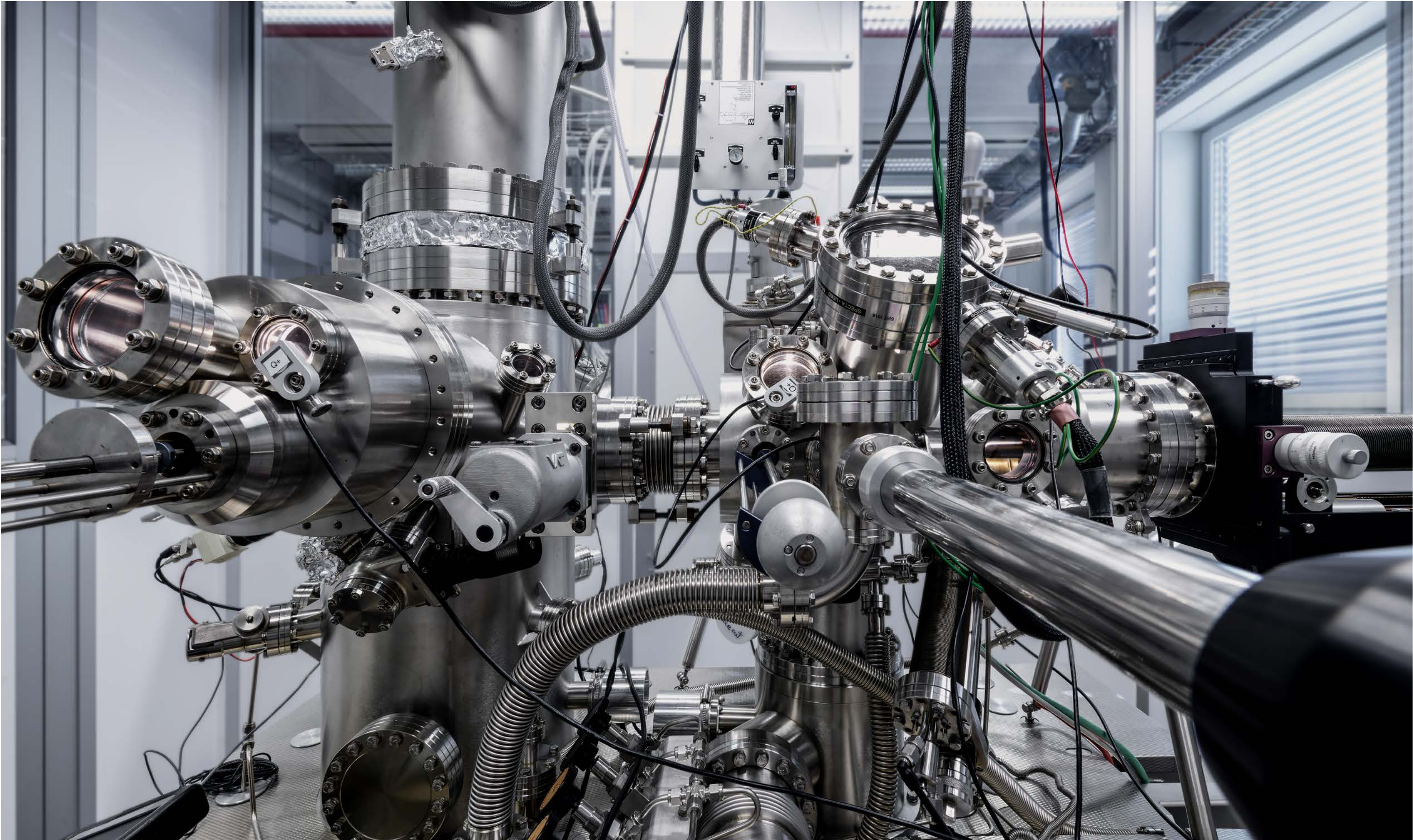
Report 2021



Einzelatom-Schalter – Zentrum für Einzelatom-Elektronik und -Photonik



MIRACLE II – Knochen minimalinvasiv mit Laser operieren und intelligente Bio-Implantate entwickeln



CarboQuant – Kohlenstoff-Nanomaterialien für Quantentechnologien im Alltag



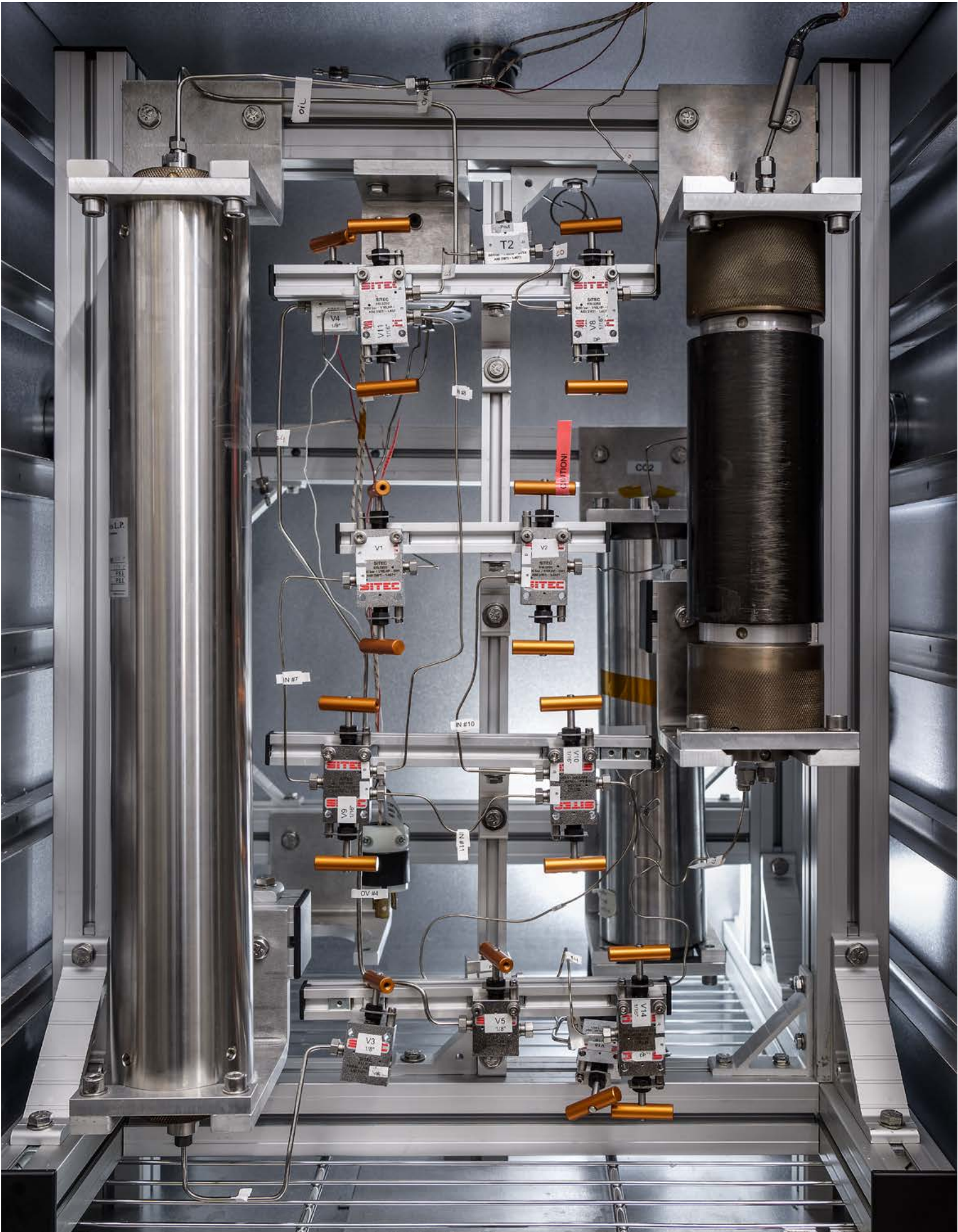
Thermoelektrik – Suche nach optimalen thermoelektrischen Materialien



Werner Siemens Imaging Center – hilfreiche Bildgebung



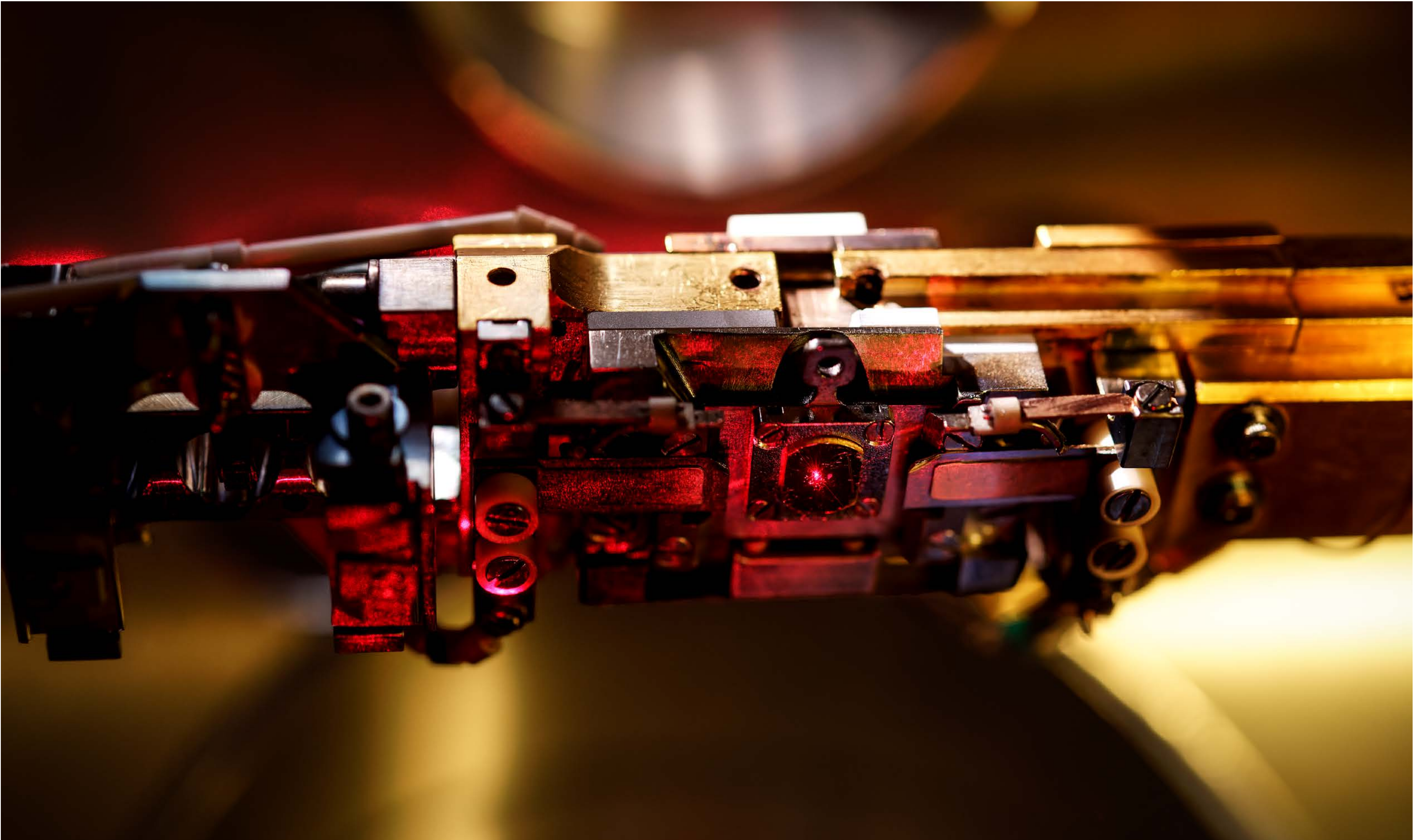
Segelnde Forschungsjacht «Eugen Seibold» – Ozeanografie

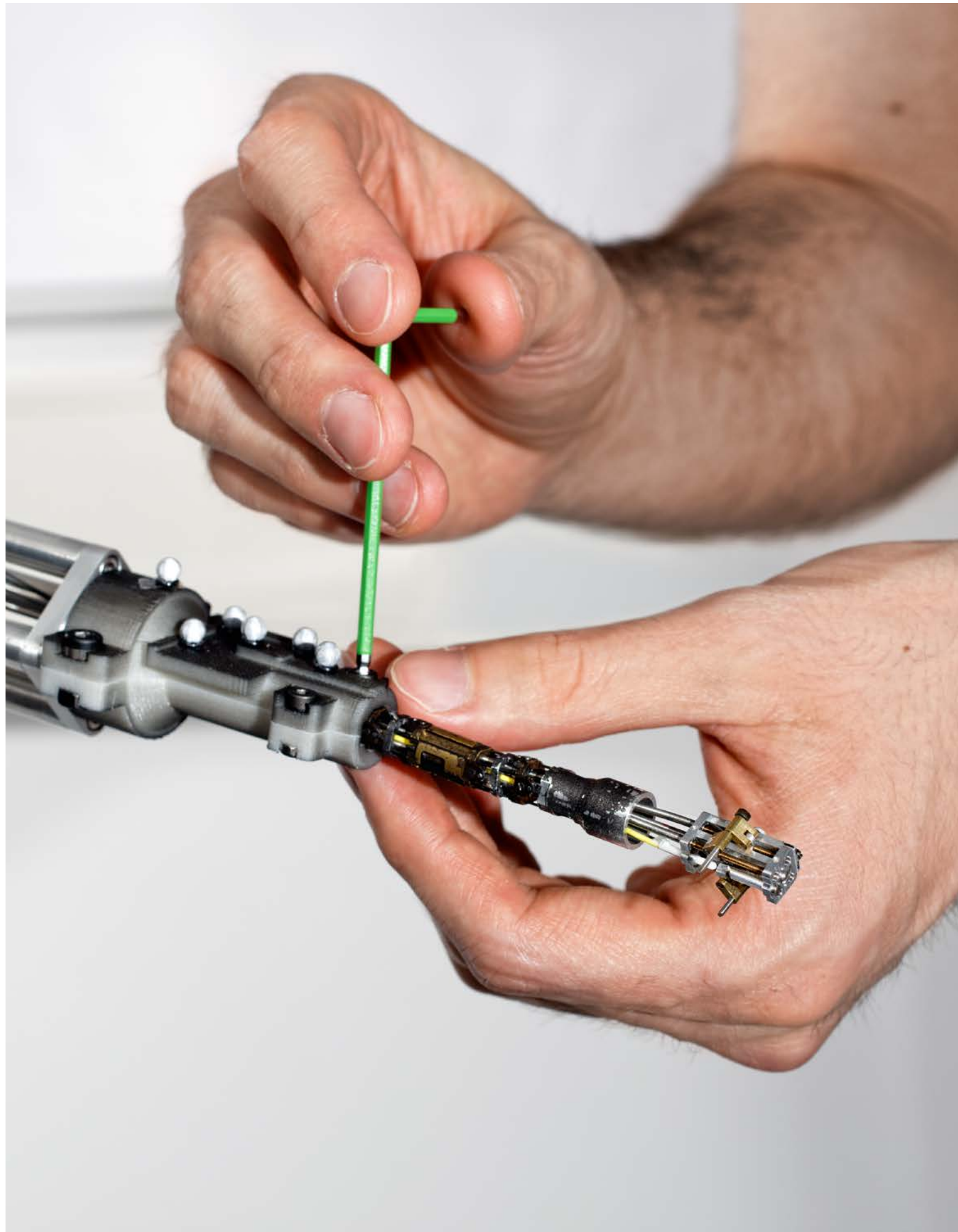


Geothermie – Erdwärme nutzen

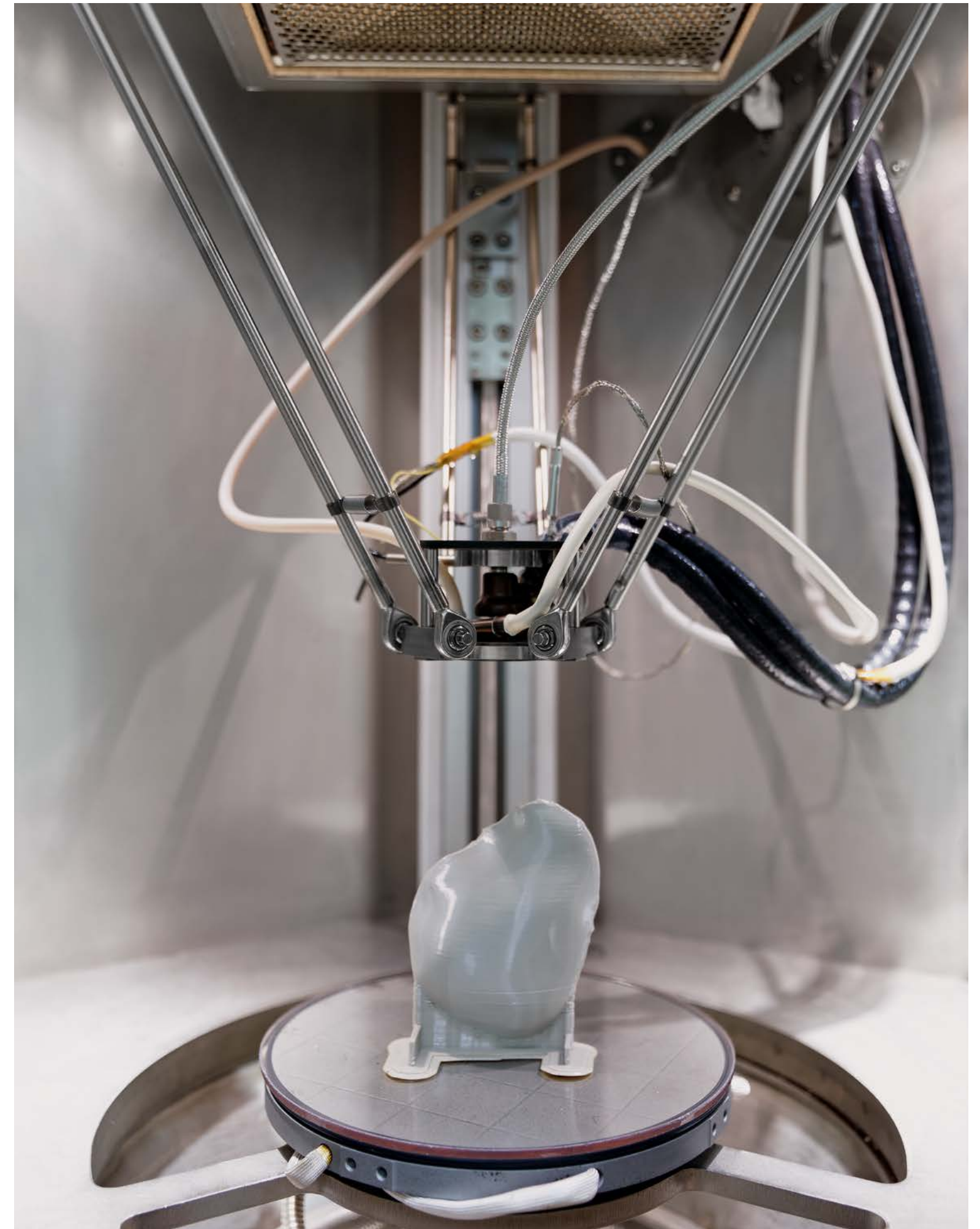


Bedretto-Untergrundlabor – Tiefengeothermie unter realitätsnahen Bedingungen erforschen





MIRACLE II – Knochen minimalinvasiv mit Laser operieren und intelligente Bio-Implantate entwickeln



MIRACLE II – Knochen minimalinvasiv mit Laser operieren und intelligente Bio-Implantate entwickeln

Wir fördern Innovationen in Technik und Natur- wissenschaften

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt pionierhafte technische und naturwissenschaftliche Projekte in Forschung und Lehre an Universitäten und Hochschulen vornehmlich in Deutschland, Österreich und in der Schweiz, die höchsten Ansprüchen genügen und zur Lösung relevanter Probleme unserer Zeit beitragen. Sie finanziert die Startphase dieser innovativen Projekte mit namhaften Beträgen – mit dem Ziel, dass die angeschobenen Projekte nach ein paar Jahren eigenständig weiterlaufen oder die daraus resultierenden Innovationen industriell genutzt werden. Zudem fördert die Werner Siemens-Stiftung Initiativen in den Bereichen Erziehung, Ausbildung und Nachwuchsförderung, insbesondere in den Sparten Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik, Medizin und Pharmazie.

Vorwort

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt jährlich ein bis drei neue herausragende technische und naturwissenschaftliche Projekte, die zur Lösung relevanter Probleme unserer Zeit beitragen. So finanzieren wir seit 2021 den Aufbau eines Virenforschungszentrums (Seite 45) und die Entwicklung innovativer Nanomaterialien für quantenmechanische Anwendungen im Alltag (Seite 25).

Erwähnenswert ist auch unser kürzlich geschaffener Lehrstuhl für «Economics of Climate Change» am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung, wo die ökonomischen Folgen des Klimawandels untersucht werden sollen – eine der grossen Herausforderungen der Menschheit. Informationen zum neuen Lehrstuhl finden Sie auf unserer Website wernersiemens-stiftung.ch.

Neben interessanten Forschungsprojekten gilt unsere Aufmerksamkeit natürlich auch weiterhin den Vorhaben und Nöten der Familie. Diesen wird sich der Beirat der Familie auch in Zukunft widmen – wenn auch in etwas veränderter Zusammensetzung: Gerd von Brandenstein ist im März 2021 nach 35 Jahren aus dem Beirat der Familie der Werner Siemens-Stiftung ausgetreten. Er begann als einer ihrer Buchprüfer, wurde dann reguläres Mitglied und hatte zuletzt den Vorsitz des Beirats der Familie inne. In den vielen Jahren im Dienst der Werner Siemens-Stiftung hat Gerd von Brandenstein zusammen mit den anderen Mitgliedern des Beirats und mit den Stiftungsräten Entwicklungen auf den Weg gebracht und vorangetrieben, die das heutige Wirken der Stiftung ermöglichen und weiter bestimmen. Wir danken Gerd von Brandenstein

sehr für sein Engagement und für seinen Weitblick. Ein Interview mit ihm finden Sie auf Seite 112.

Neu in den Beirat der Familie wurde Alexander von Brandenstein gewählt. Er ist ein Nachfahre von Marie von Graevenitz, einer der beiden Schwestern, die 1923 die Werner Siemens-Stiftung in Schaffhausen gegründet haben. Mit Alexander von Brandenstein gewinnt der Beirat ein Mitglied mit Familiensinn und wertvollen Erfahrungen als Unternehmer im Bereich der digitalen Wirtschaft.

Der neu formierte Beirat hat mich im März 2021 zu seinem Vorsitzenden gewählt. Als Rechtsanwalt kann ich Erfahrungen aus meinem Berufsleben im Bank- und Finanzwesen sowie aus meiner langjährigen Arbeit für und mit Familienunternehmen und ihren Fami-

lien einbringen. Wissend um den grossen Fussabdruck, den mein Vorgänger hinterlassen hat, habe ich Respekt vor der Verantwortung und der Aufgabe.

Am Herzen liegt mir, die Aufmerksamkeit auf die brennenden Themen unserer Zeit aufrechtzuerhalten und die Unterstützung entsprechender Projekte weiter auszubauen. Dieses Ziel verfolgen auch die anderen Gremien der Stiftung – für die gute Zusammenarbeit bin ich dankbar.

Auf neue Vorhaben und Aufgaben im Jahr 2022 freue ich mich und wünsche Ihnen, den Leserinnen und Lesern des Reports 2021, eine interessante und anregende Lektüre.

Oliver von Seidel
Vorsitzender des Beirats der Familie der Werner Siemens-Stiftung, Zug

Inhalt

Was wir fördern

16 Innovationen in Technik und
Naturwissenschaften

18 Vorwort

Unterstützte Projekte

25 Quantensprung in den Alltag

45 Doppelangriff auf Viren

59 All inclusive: MIRACLE II

74 Blitze schleudern im Untergrund

76 Der Berg als riesiger Sensor

80 Hochsee-Praktikum

84 Sanfte Roboter in rauer See

86 Kontrollierte Unreinheit

88 Zinn schlägt Silizium

90 Das Rote Kreuz in digital

92 Profi für alle Fälle

94 Lebende Zellen beobachten

98 Zahnstein lesen

100 Darmbakterien gegen Krebs

102 Schlagender Erfolg

Wer wir sind

106 Herzblatt und Halbwilde

111 Gremien

112 Sechs Fragen an Gerd von Brandenstein

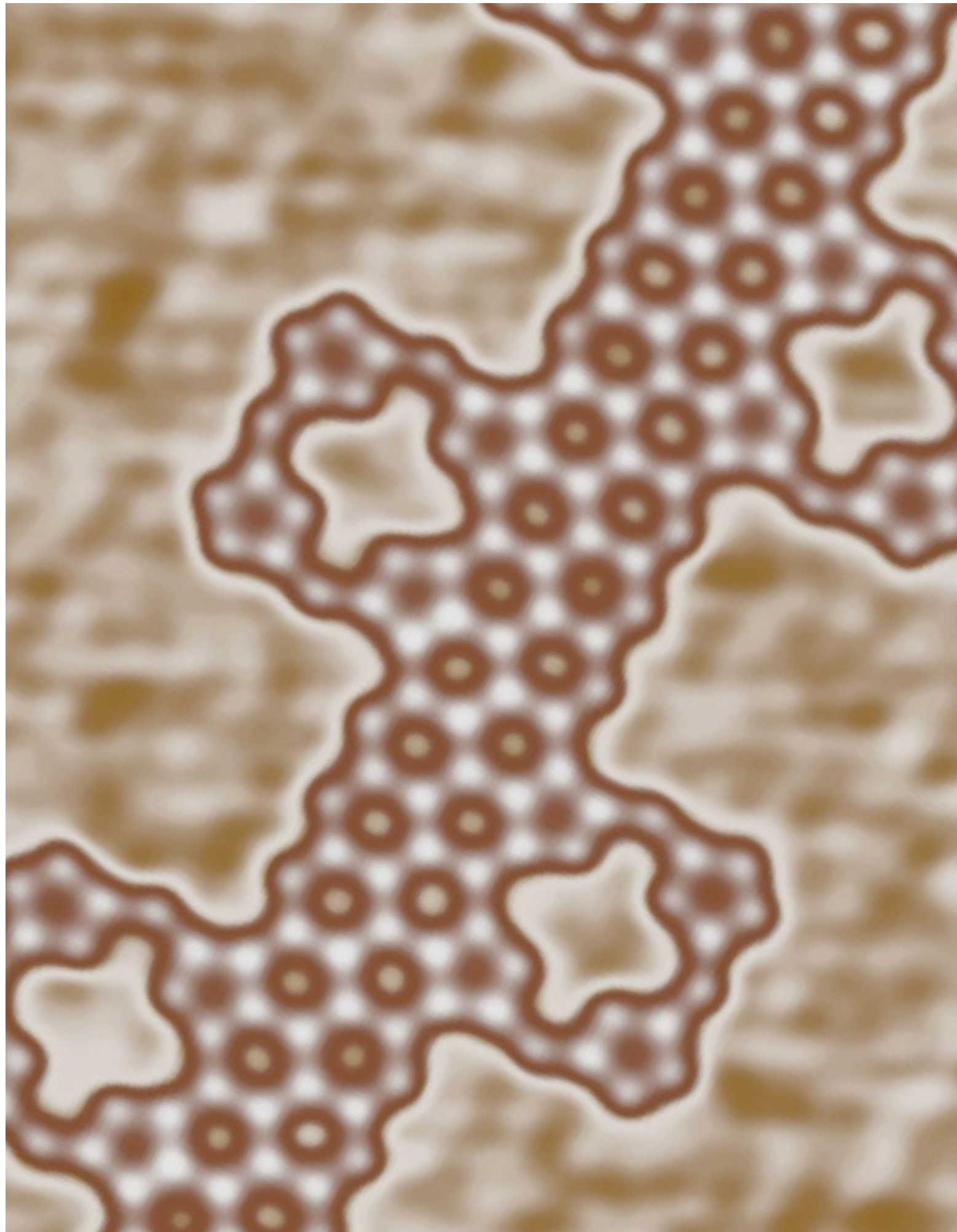
114 Vergabeprozess

116 Impressum

Unterstützte Projekte

Quantensprung in den Alltag

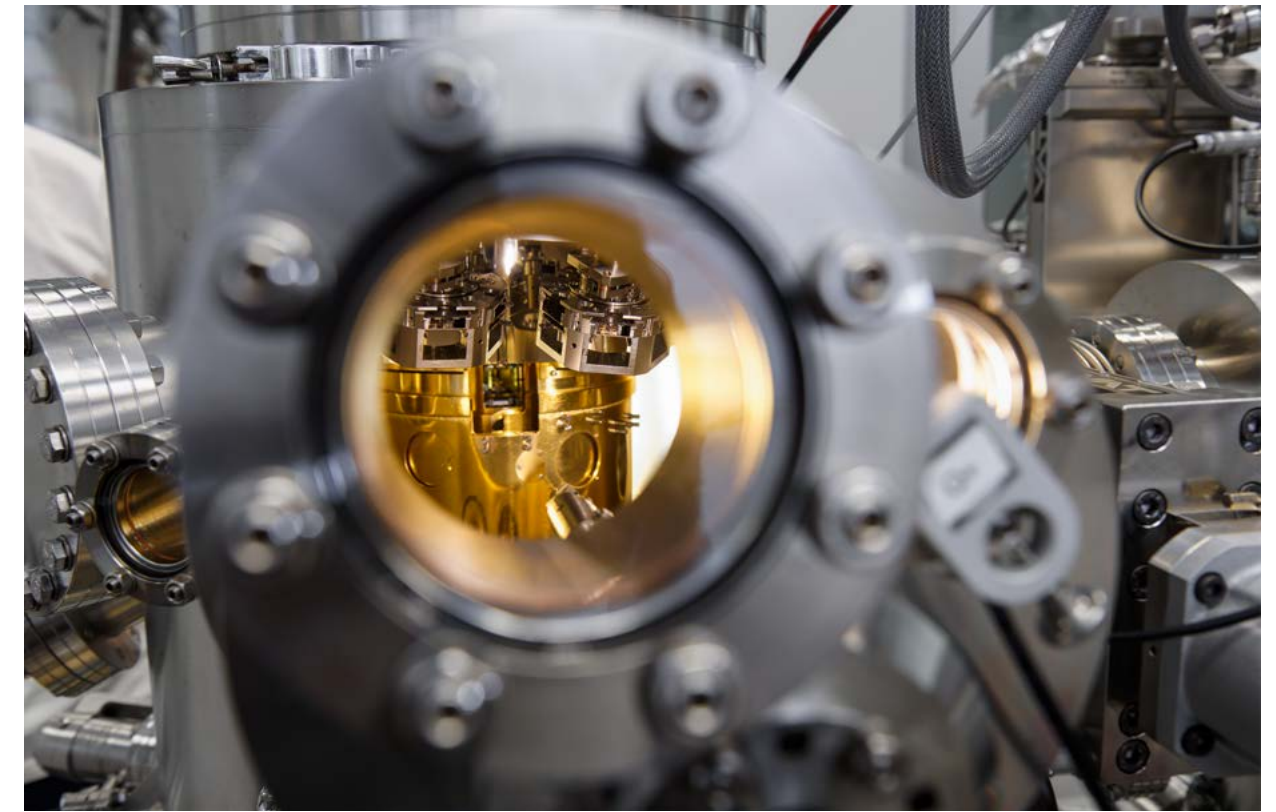
CarboQuant: Entwicklung von Kohlenstoff-Nanomaterialien für Quantentechnologien der zweiten Generation



Was haben Stein, Bronze, Eisen, Erdöl und Silizium gemeinsam? Es sind Rohstoffe, deren Nutzung die Menschheit sprunghaft weiterbrachte. Im 21. Jahrhundert bricht nun das Zeitalter der Nano- und Quantenwelt an. Mit neuen «Rohstoffen» wie Qubits oder Nanobändern, die unserer Informationstechnologie einen «Quantensprung» bescheren könnten.

Unterwegs ins Quantenzeitalter

Willkommen in der Nanowelt – und damit im Reich der Quantenphysik. Hier gelten andere Regeln als in unserer sichtbaren Realität. Nanoteilchen und -materialien besitzen nämlich Eigenschaften, die völlig neue Möglichkeiten eröffnen – etwa: rasend schnelle Quantencomputer zu bauen. Das CarboQuant-Team um Projektleiter Roman Fasel an der Empa, dem Eidgenössischen Forschungsinstitut für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung, will diese Eigenschaften nutzen und Nanomaterialien entwickeln, die die Quantentechnologie alltäglich machen könnten. Eine Reportage aus den Hightech-Hallen der Empa in Dübendorf bei Zürich.



Blick durchs Guckloch in die golden schimmernde Kammer im Rastertunnelmikroskop, wo die Materialproben unter Vakuum vermessen werden.

Metallisch glänzend steht eine grosse, seltsame Maschine mitten im Raum – das Rastertunnelmikroskop. Wo sich die «Gucklöcher» befinden, ist nicht auf Anhieb ersichtlich; auffallend ist vor allem ein Gewirr aus Rohren, Schläuchen, Schrauben, Platten, Kabeln. Doch Gabriela Borin Barin kennt sich aus. Die Chemikerin und Materialingenieurin im CarboQuant-Team am nanotech@surfaces Laboratory der Empa nähert sich einem der kreisrunden Sichtfenster, schaut ins Rastertunnelmikroskop hinein und dreht gleichzeitig mit der Hand an einem Griff. So kann sie eine feine Zange im Inneren, wo ein nahezu perfektes Vakuum herrscht, bewegen. Vorsichtig führt Gabriela Borin Barin nun mithilfe des Griffs die Zange tiefer ins Rastertunnelmikroskop hinein und nimmt damit aus einem winzigen Gestell eine Materialprobe.

Was Borin Barin gleich vermessen wird, ist ein Material, das es zuvor nicht gab. Auf einer Goldfolie hat die Forscherin durch chemische Reaktionen eine bestimmte Struktur aus Kohlenstoff wachsen lassen: ein langes, dünnes Band, das aus einer einzigen Schicht von vernetzten Atomen besteht – eine Nanostruktur. Borin Barin hat sie nach ihren Vorstellungen hergestellt. Mit solchen Kohlenstoff-Nanobändern wollen Borin Barin und ihre Kolleginnen und Kollegen des CarboQuant-Projekts der Empa in Dübendorf, Schweiz, zukünftig ganz neuartige elektronische Bauteile erschaffen. Elektronische Bauteile, die auf Quantenzuständen beruhen und so leistungsfähig sind, dass sie heutige Supercomputer so bescheiden wie Taschenrechner aussehen lassen werden.

Kleinstmögliche Dimensionen

Zur Veranschaulichung kramt Oliver Gröning, stellvertretender Leiter des CarboQuant-Teams, sein Smartphone aus der Hosentasche. «Das sieht modern aus, aber die Technologie hier drin ist 50 Jahre alt», sagt Gröning. «Zwar sind die Prozessoren in unseren heutigen elektronischen Geräten immer kleiner und schneller geworden, aber an der Physik, auf der sie beruhen, hat sich nichts geändert.»

Mit dem CarboQuant-Projekt wollen die Forschenden nun einen Schritt weiter gehen. Beziehungsweise einige Dimensionen kleiner werden. Denn wenn man sich in die Nanowelt begibt, erweitert sich die klassische Physik zur Quantenphysik. «Die fängt bei einer Grössenordnung von etwa 10 Nanometern an», sagt Gröning. Ein Nanometer entspricht einem Milliardstel Meter. Zum Vergleich: Ein einzelnes menschliches Haar ist rund 70 000 Nanometer dick.

Andere Regeln

In der Nanowelt gelten andere Regeln als in unserer sichtbaren Realität: Im Reich der Quantenphysik gibt es beispielsweise Teilchen, die gleichzeitig mehrere Eigenschaften, die sich in der klassischen Physik widersprechen, besitzen; oder zwei Teilchen können weit auseinanderliegen und dennoch miteinander gekoppelt sein und sich gegenseitig beeinflussen. «Solche Quanteneffekte wollen wir ausnutzen», sagt Gröning. Dazu müssen die Forschenden ihre Materialien bis in die Nanodimensionen hinab kontrollieren können, und das heisst: aufs Atom genau.

Einzelne Atome unterscheiden

Im Labor dreht Gabriela Borin Barin vorsichtig weiter am Griff des Rastertunnelmikroskops und bewegt die Zange mit der Materialprobe an die richtige Stelle für die Messung. Mit blossen Auge sieht sie die Nanostrukturen nicht, nur das Goldplättchen, auf dem sie synthetisiert wurden.

Die Messung ist eine höchst sensible Angelegenheit. «Auf Vibrationen reagiert das Rastertunnelmikroskop extrem empfindlich», erklärt Borin Barin. Deshalb befindet sich die Anlage im Untergeschoss des Laborgebäudes, wo es am wenigsten Vibrationen gibt. Zusätzlich steht sie auf einem «Gestell», das mit einem System bestückt ist, das auch die kleinsten Vibrationen auffängt. So liefert das Rastertunnelmikroskop den Forschenden ein Bild ihrer Materialkreationen in einer derart hohen Auflösung, dass sie darin einzelne Atome unterscheiden können.

Jede Form ein neues Material

Die Form ihrer Nanobänder ist nicht zufällig gewählt. Das Potenzial liegt in den langen Seitenrändern. Die Struktur dieser Ränder definiert die quantenelektronischen Eigenschaften. So unterscheiden sich die verschiedenen Nanobänder, die das Team bisher entworfen und synthetisiert hat, nur an den Rändern der Strukturen, und dennoch besitzen sie fundamental unterschiedliche elektronische Eigenschaften. «Indem wir die Form der Nanobänder leicht verändern, schaffen wir ein völlig neues Material», erklärt Gröning.

Doch wozu dient das? Um das zu verstehen, hilft der Vergleich mit der klassischen Elektronik, die auf Bits beruht. Diese kleinsten Recheneinheiten können einen von zwei

Zuständen aufweisen: 0 oder 1. In der Quantenwelt dagegen können sich diese Zustände überlagern: Möglich sind 0, 1 oder beide Zustände gleichzeitig. Darum können Schaltkreise aus den Bausteinen eines Quantencomputers, sogenannte Qubits, nicht nur eine Rechenoperation nach der anderen durchführen wie Schaltkreise, die mit Bits rechnen, sondern mehrere gleichzeitig. Dadurch steigt die Leistung eines Quantenrechners mit jedem Qubit exponentiell an.

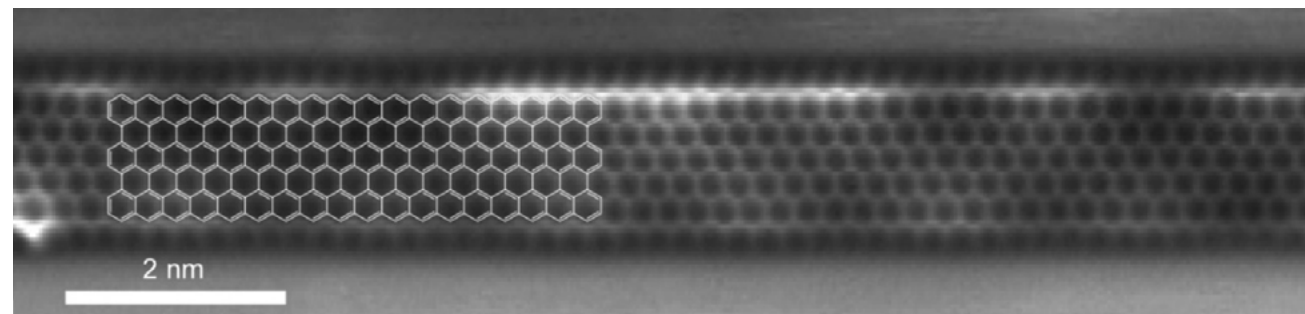
Ein anderer Quanteneffekt ist die Kopplung von Teilchen, in der Fachsprache Quantenverschränkung genannt. Die Quantenverschränkung lässt sich für die Programmierung eines Quantencomputers oder für extrem sichere Verschlüsselungen verwenden.

Solche nützlichen Quanteneffekte können die Empa-Forschenden auch ihren CarboQuant-Nanobändern verleihen. Im Speziellen interessieren sie sich für den sogenannten Drehimpuls von Elektronen, den Elektronenspin. Bereits hat das Team herausgefunden: Mit der richtigen Struktur der Nanobänder lassen sich die Elektronenspins der beiden Seitenränder miteinander koppeln. Dadurch entsteht eine Art Autobahn für Spin-Zustände, vergleichbar mit der «Autobahn» für elektrische Ladung bei der herkömmlichen Elektronik. «Wenn wir es schaffen, diese Spin-Zustände zu kontrollieren, können wir sie auch für quantenelektronische Bauteile nutzen», sagt Gröning.

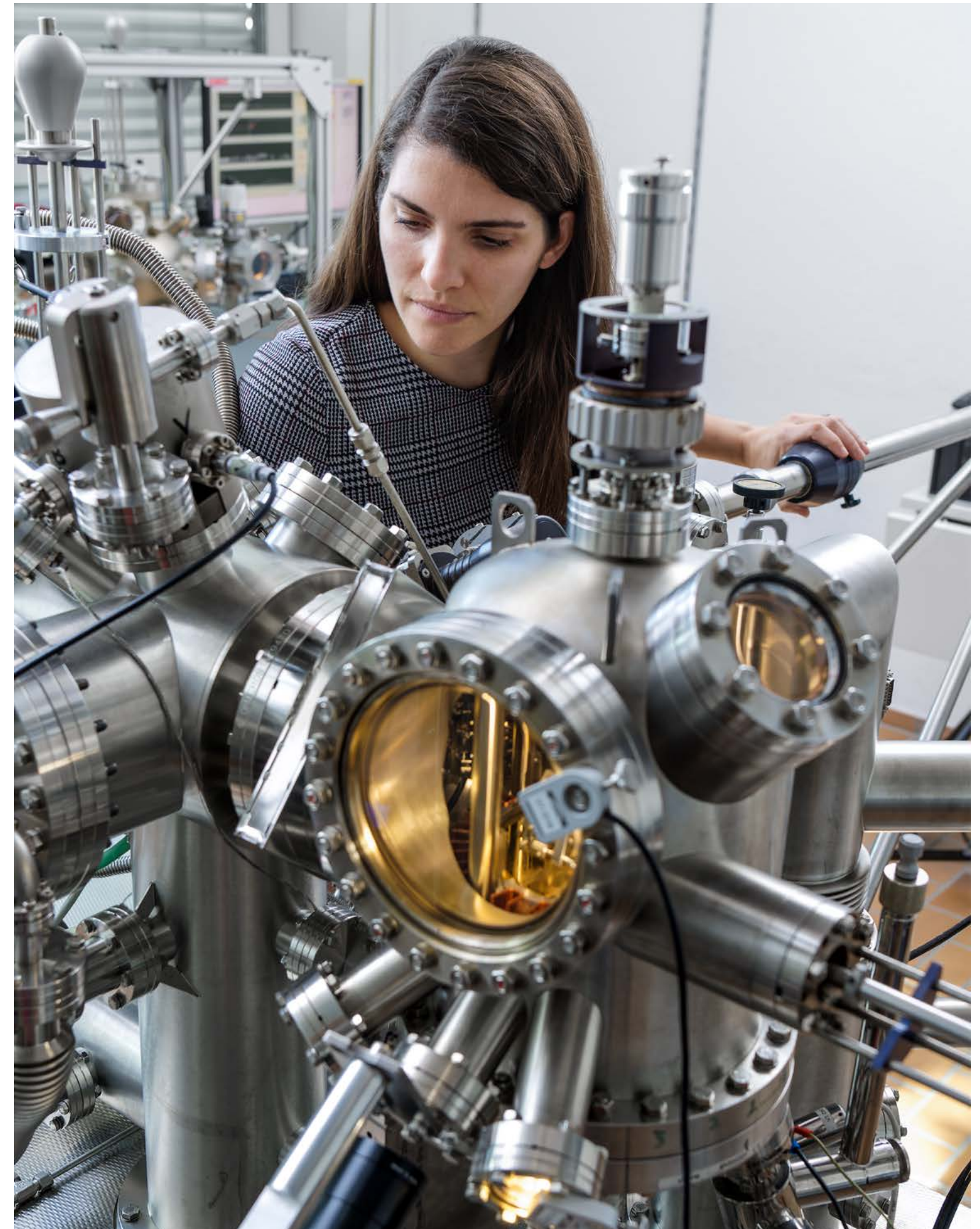
Synthese im Hochvakuum

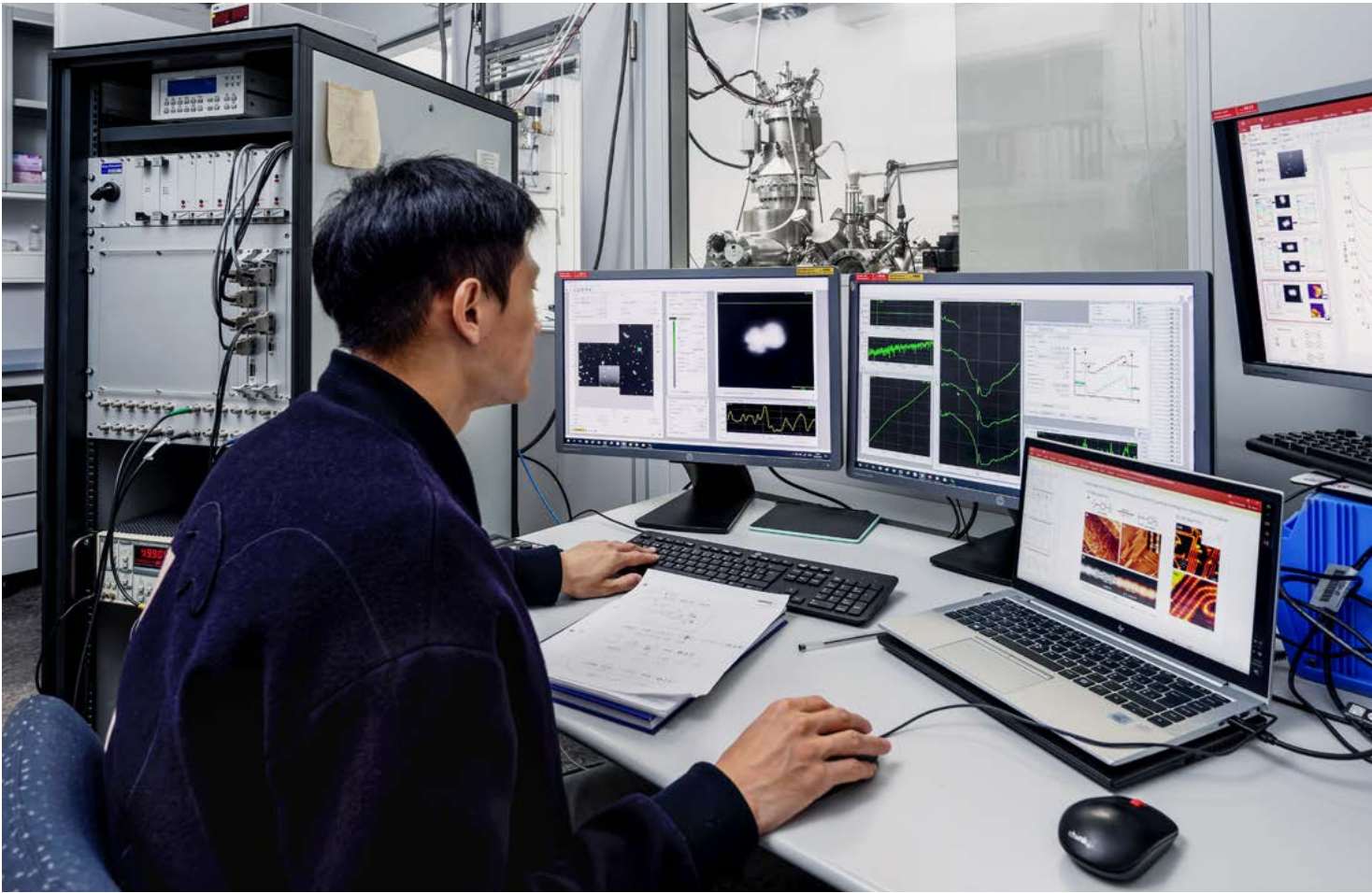
Im Labor hat Gabriela Borin Barin alles so vorbereitet, dass sie die Messung ihres neu entwickelten Nanobands starten kann. Durch das Bullauge des Rastertunnelmikroskops

Zehnmillionenfach vergrösserte Aufnahme der atomaren Struktur eines vom CarboQuant-Team entwickelten Kohlenstoff-Nanobands. Verändern die Forschenden die langen Seitenränder, entstehen völlig neuartige elektronische Eigenschaften, die jede dieser Modifikationen als ein eigenständiges neues Material erscheinen lassen.

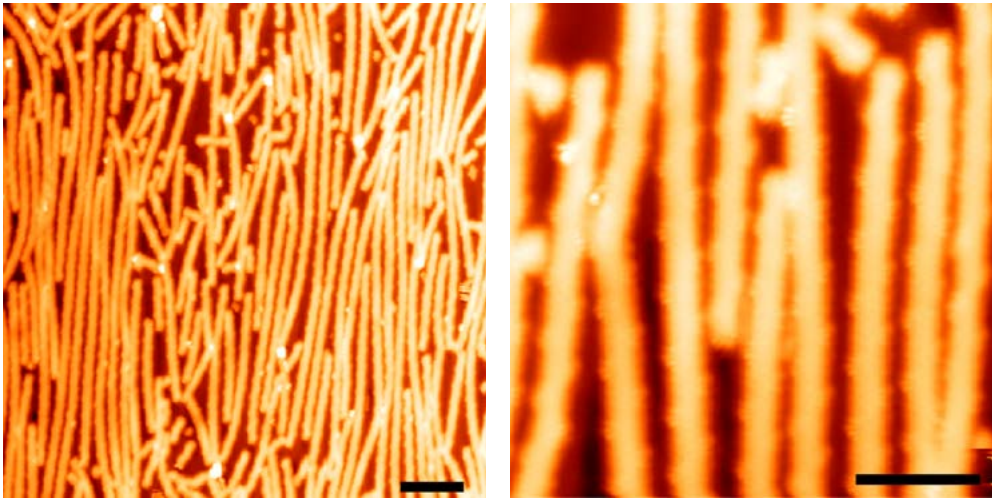


Die Chemikerin und Materialingenieurin Dr. Gabriela Borin Barin vom CarboQuant-Team platziert eine Probe eines neu geschaffenen Kohlenstoff-Nanobands im Rastertunnelmikroskop.





Steuerpult eines Rastertunnelmikroskops: Hier lassen sich die neu kreierten Kohlenstoff-Nanobänder während der Messung laufend am Computer visualisieren und analysieren.



Rastertunnelmikroskopische Abbildungen von Kohlenstoff-Nanobändern in unterschiedlicher Vergrösserung. Die schwarzen Skalenbalken unten bezeichnen eine Länge von 5 Nanometern. Zum Vergleich: Ein menschliches Haar hat einen Durchmesser von rund 70 000 Nanometern.



Will die Möglichkeiten der Quantenphysik in Alltagsanwendungen wie Quantensensoren oder abhörsicheren Kommunikationskanälen nutzen: Projektleiter Roman Fasel vom nanotech@surfaces Laboratory der Empa, in Dübendorf bei Zürich.

kann man knapp die feine Nadel aus einer Platin-Iridium-Legierung erkennen, welche die Probe während der Messung abtasten wird. Dabei fließen Elektronen von der Nadelspitze über einen winzigen Abstand zur Probe, was zu einem messbaren Strom führt. Der sogenannte Tunneleffekt erlaubt es, das neue Nanoband aufs Atom genau abzubilden. Die Messung ist so sensibel, dass sie unter Hochvakuum ablaufen muss. In einigen Stunden wird Borin Barin das Abbild ihres Nanobands sehen.

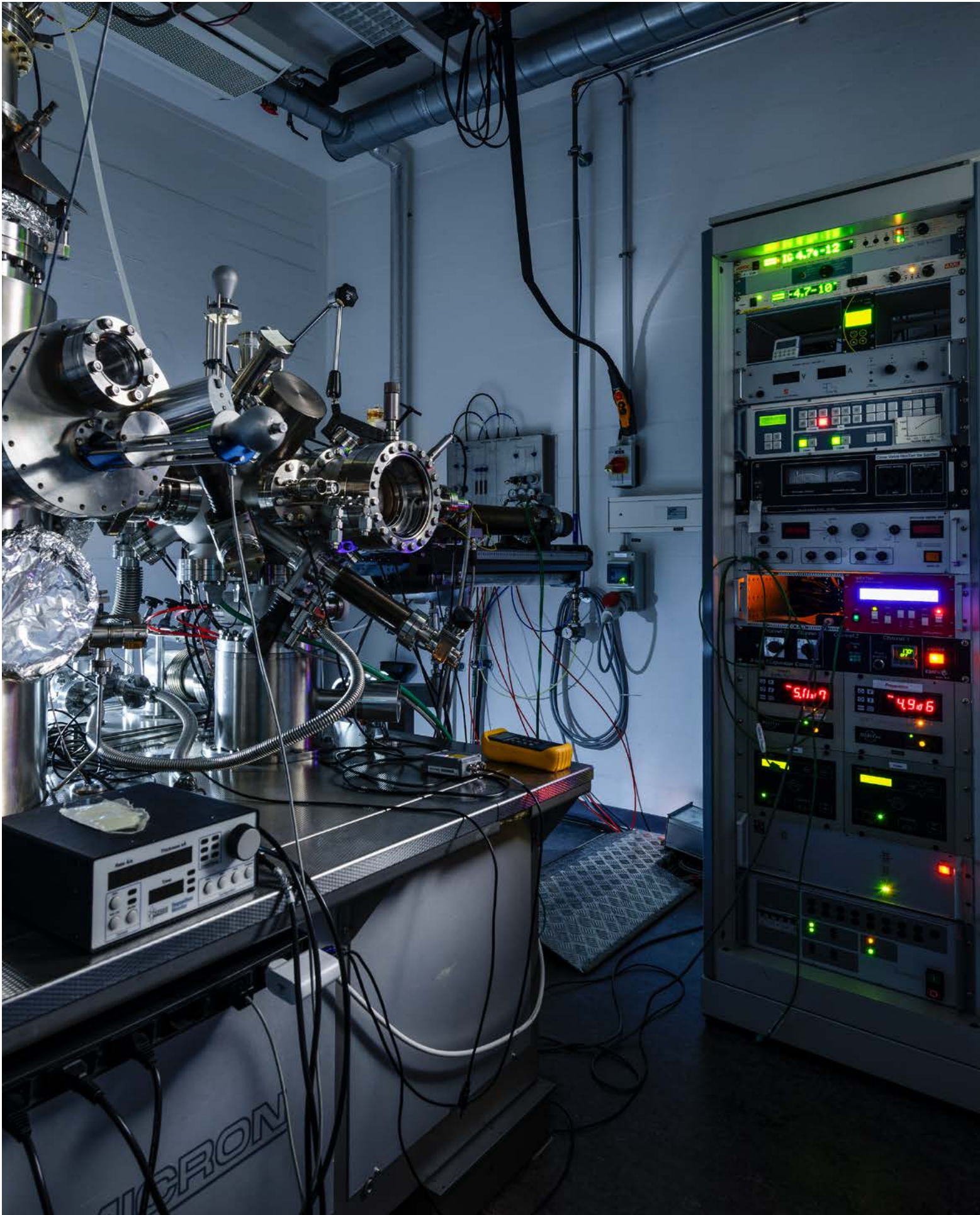
Auch die Synthese der Nanobänder findet unter Vakuum statt, genauer gesagt, in einer Synthesekammer, die von der Mikroskopkammer getrennt ist. Borin Barin transferiert die Ausgangsmaterialien – also die Goldfolie und die Vorläufermoleküle –, die sich zu einem Nanoband verbinden sollen, durch eine Art Lüftungsschacht in das System. Dieser lässt sich öffnen und danach verhältnismässig rasch wieder unter Vakuum setzen, um die Materialien in das Ultrahochvakuum der Synthesekammer zu transferieren. «Müssten wir die Synthesekammer selbst öffnen, würde es jedes Mal eine ganze Woche dauern, bis die Anlage wieder einsatzbereit ist», erklärt die Chemikerin.

Die Syntheseprozedur selbst besteht aus einer Abfolge von verschiedenen Kühl- und Heizschritten, bis zu einer Höchsttemperatur von 400 Grad Celsius. Wollen die Forschenden eine bestimmte neue Struktur herstellen, müssen sie erst Schritt für Schritt die dafür nötigen Bedingungen herausfinden. Dabei nutzen sie das Rastertunnelmikroskop auch für die Überprüfung, ob die gewünschten Reaktionen tatsächlich ablaufen und die entworfene Nanoband-Struktur entsteht.

Der Schlüssel zum Erfolg

In einer Ecke des Labors ist ein weiteres kleineres Gerät aufgebaut, das entfernt an eine Tauchkugel erinnert. Diese Maschine führt Syntheseprozesse automatisiert durch. Die hier synthetisierten Nanobänder lassen sich in die normale Umgebungsatmosphäre transferieren. So können sie ausserhalb der Vakuumkammer auf ihre optischen und elektronischen Eigenschaften hin analysiert und in elektronische Bauteile integriert werden.

Die Forschenden arbeiten schon seit Längerem an der Entwicklung dieser hoch präzisen Synthesemethoden für ihre Nanobänder. Vor drei Jahren begannen sie zu verstehen, wie genau sie die Nanostrukturen entwerfen müssen, damit stabile Spin-Quanteneffekte entstehen. «Das ist der Schlüssel für die weitere Entwicklungsarbeit», sagt Gröning. «Inzwischen sind wir so weit, dass wir komplexe Quantenzustände fest in die Nanostrukturen einschreiben können. Nun wartet die grosse Herausforderung auf uns, diese Quantenzustände zu kontrollieren und weiterzuentwickeln.» Dank der finanziellen Unterstützung der Werner Siemens-Stiftung können sie diese Herausforderung nun in den kommenden zehn Jahren in weitere Erfolge umwandeln.



Die Rastertunnelmikroskop-Anlage in Betrieb. Während der hoch empfindlichen Messung der Kohlenstoff-Nanobänder muss jede Erschütterung durch Vibrationen oder Schall vermieden werden, sogar das Licht wird gedimmt.

Wanted: gigantische Rechen-Power

Die Entwicklung neuer Nanomaterialien für die Quantentechnologie ist längst zum Wettlauf geworden. Daran beteiligen sich neben dem CarboQuant-Team zahlreiche weitere Forschende und Firmen auf der ganzen Welt. Wie unterscheidet sich das CarboQuant-Projekt der Empa in der Schweiz von den anderen und was ist sein Ziel? Antworten darauf geben Projektleiter Roman Fasel, der dem nanotech@surfaces Laboratory vorsteht, und der stellvertretende Projektleiter Oliver Gröning.

Weltweit sind Physiker und Ingenieure auf der Jagd nach Quanteneffekten. Warum dieser unglaubliche Hype?
Roman Fasel: Der Schritt hin zur Quantentechnologie ist schlicht die letzte wirkliche Grenze, die wir in der Elektronik noch überschreiten können. Durch die enormen Fortschritte der letzten Jahre in der Nanotechnologie ist dieses Ziel in Reichweite gekommen. Wahrscheinlich ist es dieser Pioniergeist, der viele motiviert. Inzwischen können wir die komplexen Strukturen unserer Nanobänder so präzise konstruieren, wie es nötig ist, um Quanteneffekte zu nutzen und zu manipulieren – in einer Größenordnung, in der ein einzelnes Atom einen gewaltigen Unterschied ausmacht. Tiefer ins Detail können elektronische Bauteile nicht mehr gehen.

Wenn über Quantentechnologie gesprochen oder geschrieben wird, geht es meistens um Quantencomputer und die erwartete Explosion der Rechenpower mit einem solchen Gerät. Aber wozu benötigen wir überhaupt mehr Rechenpower?
Fasel: Das ist eine berechtigte Frage. In der Tat konnte man Rechner in den

letzten fünfzig Jahren auch mit der heutigen Halbleiter-Technologie immer leistungsfähiger bauen – man muss sich das mal vorstellen: Heute hat jedes Smartphone mehr Rechenpower, als anno dazumal für die Mondlandung verwendet wurde. Dennoch gibt es noch viele Probleme, die unsere Computer nicht lösen können.

Zum Beispiel?
Fasel: Zum Beispiel Wettervorhersagen, die über einen längeren Zeitraum als ein paar Tage zuverlässig sind, oder genauere globale Klimaprognosen. Um präzisere Vorhersagen machen zu können, müsste man die Modelle, die diese Phänomene beschreiben, viel kleinräumiger und detailreicher rechnen können. Nur: Wenn kleinräumiger gerechnet wird, steigt auch die benötigte Rechenkapazität an, und zwar nicht linear, sondern exponentiell. Da kommen unsere heutigen Computer rasch an ihre Grenzen. Von genaueren Modellrechnungen würden auch viele andere wissenschaftliche Bereiche oder der Finanzsektor profitieren.
Oliver Gröning: Das ist genau der Clou an einem Quantencomputer: dass

seine Rechenpower mit jedem Qubit exponentiell steigt. Bei konventionellen Computern ist das anders, hier steigt die Prozessorgeschwindigkeit linear an. Doch damit hinkt man exponentiell skalierenden Herausforderungen immer hinterher. Solche Probleme kann man nur mit einem ebenfalls exponentiell skalierenden Rechensystem richtig angehen, mit einem Quantencomputer.

Auf der Suche nach den richtigen Materialien für die Quantenelektronik wollen Sie sich auf Strukturen aus Graphen konzentrieren – ein Material, das nur aus Kohlenstoff besteht. Schränken Sie sich dabei nicht enorm ein?

Gröning: Nein, denn Kohlenstoff ist ja nicht irgendein Element. Der Mensch besteht zu etwa 18 Prozent seines Körpergewichts aus Kohlenstoff, und jedes organische Molekül basiert darauf. Das liegt daran, dass dieses Atom ganz verschiedene chemische Verbindungen eingehen kann: Mal hat es vier Nachbarn, mal drei, mal zwei. In einer molekularen Struktur kann sich Kohlenstoff so beispielsweise zu eindimensionalen Ketten, zweidimen-

sionalen Ebenen oder, wie beim Diamanten, zu geordneten 3D-Strukturen zusammenschliessen. Eine solche Flexibilität in der Struktur gibt es bei keinem anderen Material. Mit Kohlenstoff können wir eine Vielzahl neuer Geometrien entwerfen.

Wie gehen Sie dabei vor?

Gröning: Wir kehren die bisherige Vorgehensweise um. Bisher haben Forschende meist von den Materialien aus gedacht. In Experimenten oder mit Computersimulationen haben sie diese daraufhin untersucht, welche interessanten Eigenschaften sie aufweisen. Wir haben das Gegenteil vor: Zuerst definieren wir die gewünschten Eigenschaften und beschäftigen uns danach mit der Frage, in welcher Struktur wir diese wiederfinden und wie wir eine solche Struktur konstruieren können.

Fasel: Genau dazu möchten wir eine Technologieplattform entwickeln. Darauf sollen als Materialbasis die Nanobänder zu finden sein sowie das Know-how und die Infrastruktur, die für eine gezielte Weiterentwicklung nötig sind. Die Basis für die Plattform

haben wir an der Empa in den letzten zwölf Jahren bereits geschaffen: Wir können unsere Graphen-Nanobänder gezielt herstellen, und wir haben ein Verständnis dafür entwickelt, wie wir deren Strukturen verändern müssen, um Quanteneffekte zu steuern. Nun wollen wir diese Pfeiler zu einer Plattform erweitern.

Wie sehen die ersten Schritte zur Plattform aus?

Gröning: Zunächst wollen wir eine grössere Bibliothek aus verschiedenen Nanoband-Strukturen herstellen und eine gut funktionierende Infrastruktur und Methodik aufbauen, mit der die Nanobänder charakterisiert und weiterentwickelt werden können. Dazu ist viel Kleinarbeit nötig, die vielleicht nicht sofort spektakuläre Resultate liefert, aber unabdingbar ist, damit man weiterkommt.

Fasel: Auch darum benötigt unser Vorhaben eine langfristige Finanzierung, die über die sonst übliche Einzelprojektförderung über zwei, drei Jahre hinausgeht. Das ist wie bei der einstigen Entdeckung der Kontinente: Wenn man nur von Hafen zu Hafen



Projektleiter Roman Fasel (r.) und sein Stellvertreter Oliver Gröning besprechen die nächsten Schritte des Projekts CarboQuant, das neu von der Werner Siemens-Stiftung unterstützt wird.



Wollen zusammen mit ihren Forschungsgruppen die Quantenmechanik alltagstauglich machen: Die Physiker Oliver Gröning (l.) und Roman Fasel kennen sich seit ihrer Studienzeit und sind ein eingespieltes Team.

segelt, kommt man nie über den Ozean. Dafür braucht es ein grösseres Schiff mit mehr Proviant – auch damit man nicht schon bei der ersten Flaute verhungert. Wo die Reise schliesslich hinführt, wissen wir heute noch nicht abschliessend. Das hat Magellan auch nicht gewusst, als er 1519 in See stach, um die Westroute zu den Gewürzinseln zu finden.

Dennoch: Die Konkurrenz ist riesig. Unternehmen wie IBM und Microsoft investieren Milliarden in die Entwicklung ihrer Quantentechnologien und -computer. Können Sie da mithalten?

Fasel: Nein, aber das ist auch gar nicht unser Ziel. Neben unseren Kohlenstoff-Nanobändern gibt es tatsächlich viele weitere Ansätze, und einige davon sind schon sehr weit. Beispielsweise gibt es schon äusserst empfindliche Messsensoren, die auf Quanteneffekten beruhen, ausserdem siliziumbasierte oder supraleitende Qubits, mit denen schon die ersten Quantencomputer gebaut wurden. Doch all diese Ansätze nutzen Phänomene, die nur bei extrem tiefen Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt auftreten;

darum benötigen solche Anlagen riesige und immens teure Kühlanlagen mit flüssigem Helium. Im Gegensatz dazu sind unsere Kohlenstoff-Nanobänder bei normalen Umgebungstemperaturen stabil. Wir zielen damit bewusst nicht auf eine erste Generation von Quantentechnologien, sondern auf eine zweite: eine Quantentechnologie, die keine riesigen, teuren Kühlanlagen benötigt, nicht so viel Strom verbraucht und mit Kohlenstoff ein Element nutzt, das ungiftig, günstig und gut verfügbar ist. Kurz: eine Quantentechnologie, die dereinst besser für die Anwendung im Alltag geeignet sein wird.

Quantenphysik for Beginners

Die Quantenphysik verstehen wohl nur hartgesottene Spezialistinnen und Spezialisten so richtig. Doch ist das kein Grund, es als Laie gar nicht erst zu versuchen. Unsere Übersicht erklärt die Quantenwelt zwar nicht vollständig, dafür aber verständlich.

Quantenmechanik

Die Quantenmechanik beschreibt die Physik von Teilchen und Vorgängen in der Grössenordnung der Atome. Sie bildet die Grundlage für die Atom- und Elementarteilchenphysik und für die Quantenchemie und -technologie.

Nanometer

Ein Nanometer ist ein Milliardstel Meter. In diesem Grössenbereich liegen die einzelnen Atome und hier werden Quanteneffekte sichtbar und beeinflussbar.

Zustandsüberlagerung

In der Quantenwelt können sich bestimmte Zustände überlagern, beispielsweise jene von Elektronen-Spins oder Qubits. Dieser Effekt ist der Grund, warum Quantencomputer viele Rechenoperationen gleichzeitig durchführen können.

Quantenverschränkung

Bei diesem Quanteneffekt sind mehrere Teilchen miteinander gekoppelt, obwohl sie weit voneinander entfernt liegen und nicht physisch miteinander verbunden sind. Der Effekt lässt sich unter anderem für die Programmierung eines Quantencomputers nutzen.

Qubit

Ein Qubit ist die kleinste Informationseinheit eines Quantencomputers, analog zum Bit bei klassischen Computern.

Spin

Der Spin ist der Drehimpuls und das damit verbundene magnetische Moment von Teilchen, zum Beispiel von Elektronen. Er kann bei einem Elektron zwei Werte annehmen, Spin-up und Spin-down. Diese Eigenschaft lässt sich in der Quantentechnologie zur Informationsspeicherung und -verarbeitung nutzen.

Kohärenzzeit

Die Kohärenzzeit ist ein wichtiger Parameter in Quanteneffekten. Sie beschreibt, wie lange ein bestimmter Zustand anhält, bevor er wieder anfängt, sich in den unzähligen Möglichkeiten der Quantenwelt zu verlieren.

Kohlenstoff

Kohlenstoff ist eines der häufigsten und wichtigsten Elemente in Lebewesen und organischen Molekülen und kann von allen chemischen Elementen die grösste Vielfalt an Verbindungen eingehen.

Graphen

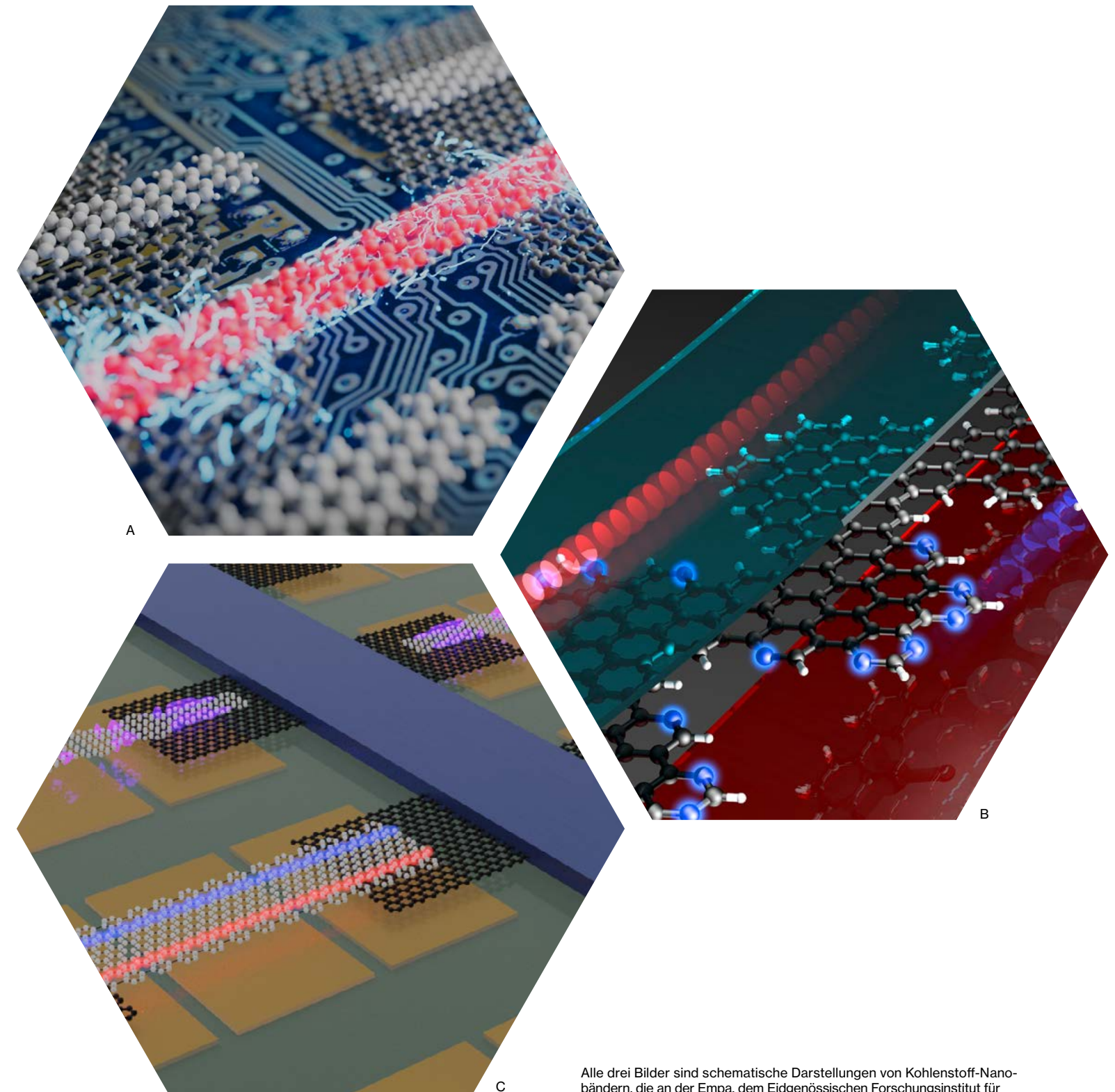
Graphen ist ein Material aus Kohlenstoff mit einer bienenwabenförmigen Struktur. Graphen ist ein zweidimensionales Material: Es besteht nur aus einer einzigen, genau ein Atom dicken Schicht.

Graphen-Nanoband

Ein Graphen-Nanoband ist ein Streifen aus Graphen, der nur wenige Atome breit ist. Die Kanten der Bänder können so entworfen werden, dass sie interessante quantenmechanische Eigenschaften erhalten. Diese will das CarboQuant-Team analysieren und verfeinern.

Tunneleffekt

Quantenmechanische Teilchen wie Elektronen können den Abstand zwischen zwei feinen Metallteilen überbrücken, sofern dieser klein genug ist. Dieses Prinzip wird «Tunneleffekt» genannt und wird bei der Rastertunnelmikroskopie genutzt, um mittels solcher Elektronenflüsse atomare Strukturen abzubilden.

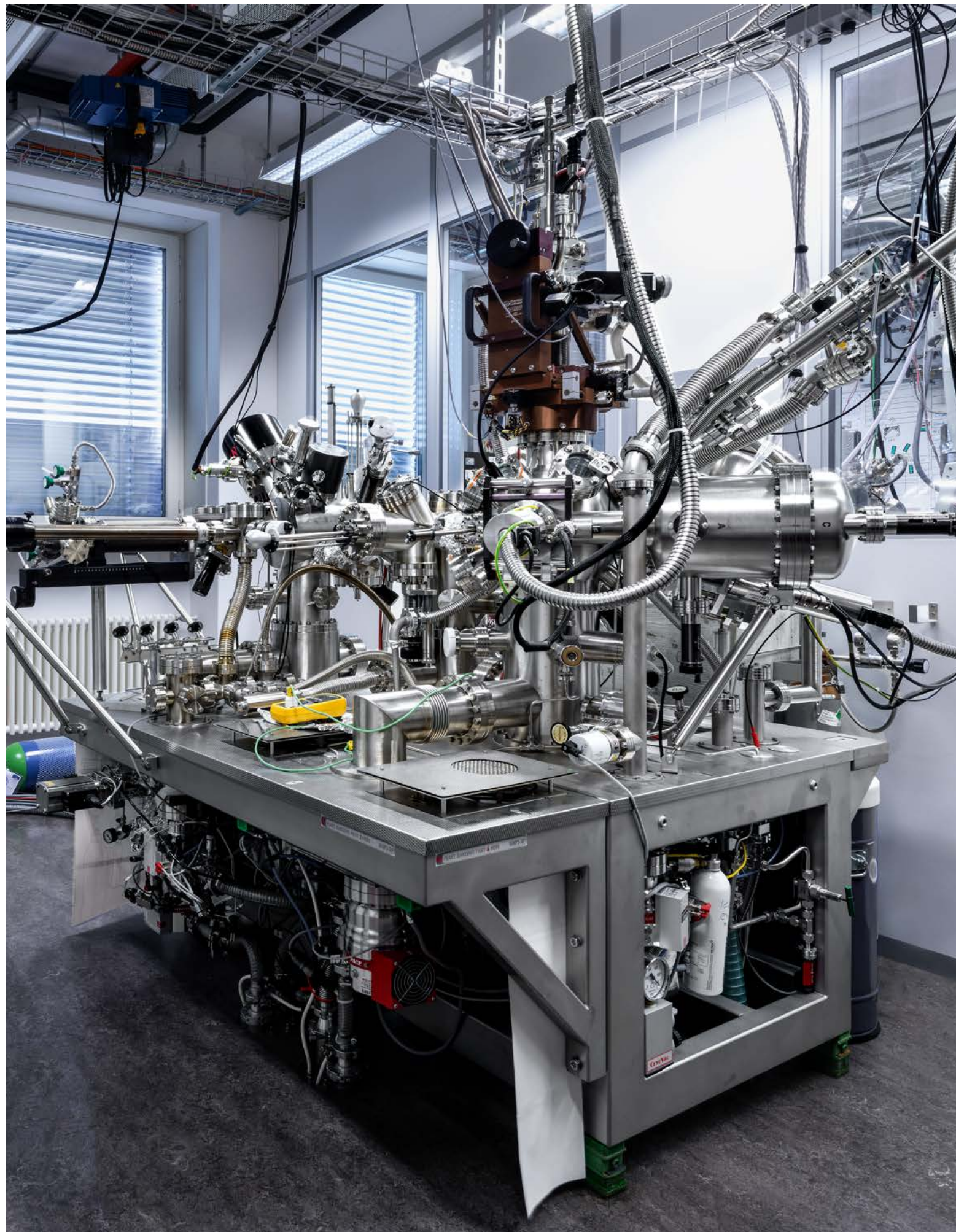


Alle drei Bilder sind schematische Darstellungen von Kohlenstoff-Nanobändern, die an der Empa, dem Eidgenössischen Forschungsinstitut für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung, erschaffen wurden (© Bilder: Mickael Perrin, Empa).

Abbildung A visualisiert schematisch die Integration von Kohlenstoff-Nanobändern (rot) als aktives Element in einem elektronischen Bauteil.

Abbildung B illustriert zwei chemisch unterschiedlich zusammengesetzte Bereiche eines Kohlenstoff-Nanobands. Der obere Bereich besteht nur aus Kohlenstoff (grün), dort sorgen die Elektronen für die elektrische Leitfähigkeit. Im unteren Bereich hat es neben Kohlenstoff- auch Stickstoffatome (blau); dort gewährleisten Löcher die elektrische Leitfähigkeit.

Abbildung C zeigt Kohlenstoff-Nanobänder (hellgraue Strukturen) in einer Feldeffekttransistor-Anordnung zwischen Graphen-Elektroden.



Zahlen und Fakten

Projekt

Das Forschungsprojekt CarboQuant an der Empa, dem Eidgenössischen Forschungsinstitut für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung, in Dübendorf bei Zürich will eine Methodik und eine Infrastruktur aufbauen für die Weiterentwicklung ihrer Kohlenstoff-Nanostrukturen, mit denen sich Quanteneffekte für elektronische Bauteile nutzen lassen. Ziel ist die Entwicklung von quantenelektronischen Bauteilen, die bei Raumtemperatur funktionieren und im Alltag anwendbar sind.

Unterstützung

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt das Forschungsprojekt CarboQuant mit der Finanzierung der Gehälter von Fach- und Nachwuchskräften und der Infrastruktur sowie mit der Übernahme der Sachkosten.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung

15 Mio. Euro für 10 Jahre

Projektdauer

2022–2032

Projektleitung

Prof. Dr. Roman Fasel, Titularprofessor am Departement für Chemie, Biochemie und Pharmazie der Universität Bern und Leiter des nanotech@surfaces Laboratory an der Empa, dem Eidgenössischen Forschungsinstitut für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung, Dübendorf, Schweiz

Zusammenarbeit Organische Synthese

Technische Universität Dresden, Deutschland; Max-Planck-Institut für Polymerforschung, Mainz, Deutschland; Nagoya University, Nagoya, Japan

Zusammenarbeit Nanofabrikation, Charakterisierung und Quantencomputer

Binnig and Rohrer Nanotechnology Center, Rüschlikon, Schweiz; Technische Universität Delft, Niederlande; University of California, Berkeley, USA

Zusammenarbeit Theorie und Simulationen

International Iberian Nanotechnology Laboratory (INL), Braga, Portugal; Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, USA

Riesige Anlage für winzige Atome: Mit der Ultrahochvakuum-Anlage mit Rastertunnelmikroskop und Photoelektronenspektrometer lässt sich die atomare Ebene einer Materialprobe strukturell, chemisch und elektronisch analysieren.

quantenmechanisch kohlenstoffbasiert alltagstauglich

Innovation

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt das Projekt CarboQuant, weil das Ziel der Empa, Nanomaterialien für quantenelektronische Bauteile zu entwickeln, die bei Raumtemperatur funktionieren, nach den Erfolgen der letzten Jahre machbar erscheint. Dadurch würde die nächste Generation Quantencomputer alltagstauglich.

Doppelangriff auf Viren

Aufbau eines «Werner Siemens Foundation Center for Antivirals Research» an der EPFL



Einfangen, Druck ausüben, und das Virus ist zerstört. Das ist kein Witz – auch wenn der neuartige Ansatz, wie man Viren zerstören kann, auf dem Bild an einem lustigen orangen Plastikvirus demonstriert wird. Das Verfahren hat sich als derart wirksam gegen bestimmte Virenarten erwiesen, dass es nun an der École polytechnique fédérale de Lausanne weiterentwickelt wird.

Chancenlose Viren

Professor Francesco Stellacci plant einen zweifachen Angriff auf Viren aller Art: Sollten sie seinem neu entwickelten Breitbandmedikament entgehen, wird ihnen sein massgeschneidertes Antivirotikum den Garaus machen. Dank der Werner Siemens-Stiftung kann Stellacci für die Umsetzung seiner innovativen Strategie ein neues Forschungszentrum an der École polytechnique fédérale de Lausanne aufbauen.

Die Covid-19-Pandemie hat unser Leben verändert – das von Francesco Stellacci in zweifacher Hinsicht. Zum einen als Privatperson, die wie wir alle mit der Pandemie leben muss. Und zum anderen als Professor für Materialwissenschaften an der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Vor der Pandemie wurde Stellacci oft ungläubig angeschaut, wenn er erzählte, woran er seit zehn Jahren forscht: an einem breit wirksamen Medikament gegen Viren. Ist das überhaupt möglich, wurde er gefragt. Sind Impfstoffe nicht wichtiger?

Seit Covid-19 hat die Idee von Francesco Stellacci deutlich an Zuspruch gewonnen. Zwar hat es die weltweite Forschungsgemeinschaft in Rekordzeit geschafft, Impfstoffe gegen das Sars-CoV-2-Virus zu entwickeln. Ob die Impfstoffe aber alle Mutationen in die Schranken weisen werden, ist nicht sicher.

Breitband-Antivirotikum

Unklar ist auch, ob es bei einer nächsten Pandemie ebenso schnell gelingen wird, Impfstoffe zu produzieren. «Deshalb ist es wichtig, neben Impfstoffen auch nach wirksamen Medikamenten gegen Viren zu forschen», sagt Stellacci. Ein Antivirotikum, das gegen ein breites Spektrum von Viren wirkt, würde nicht nur viele Menschenleben retten, sondern auch helfen, die Welt bei einer weiteren Pandemie vor erneutem Chaos zu bewahren.

Unterstützt von der Werner Siemens-Stiftung, hat sich sein Team des «Supramolecular Nano-Materials and Interfaces Laboratory» an der EPFL intensiv der Entwicklung eines solchen Breitband-Antivirotikums widmen können.



Der Materialwissenschaftler Francesco Stellacci visiert die nachhaltige Bekämpfung von Viren an. Zusammen mit seinem interdisziplinären Team will er zum einen Medikamente entwickeln, die breit gegen alle möglichen Viren wirken. Zum anderen arbeiten die Forschenden aber auch an spezifischen Wirkstoffen gegen bestimmte Virenarten.

Die Forschenden arbeiten dabei unter anderem mit Spezialistinnen und Spezialisten aus Virologie und Infektiologie an der Universität Genf und an den Genfer Universitätsspitalern zusammen.

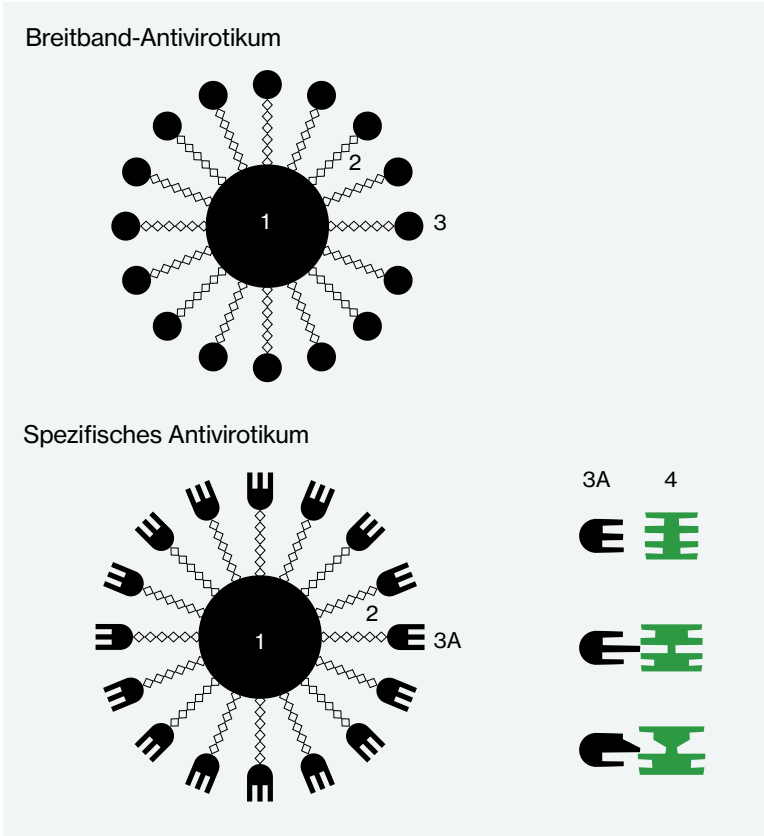
1:0 für Lausanne

Um ihr Ziel zu erreichen, verwenden die Forschenden bestimmte Zuckermoleküle und verändern sie so, dass sie Viren austricksen können: Die Moleküle täuschen vor, Teile menschlicher Zellen zu sein, worauf die Viren sich an die «Attrappen» binden – ein Fehler mit tödlichem Ausgang. Denn die Zuckermoleküle sind mit «Fangarmen» ausgestattet, die Druck auf die Viren ausüben und diese schliesslich sprengen. Anders als bei bereits existierenden antiviralen Medikamenten sind die Viren in der Folge nicht nur in ihrer Vermehrung blockiert, sondern unwiederbringlich zerstört. 1:0 für Lausanne.

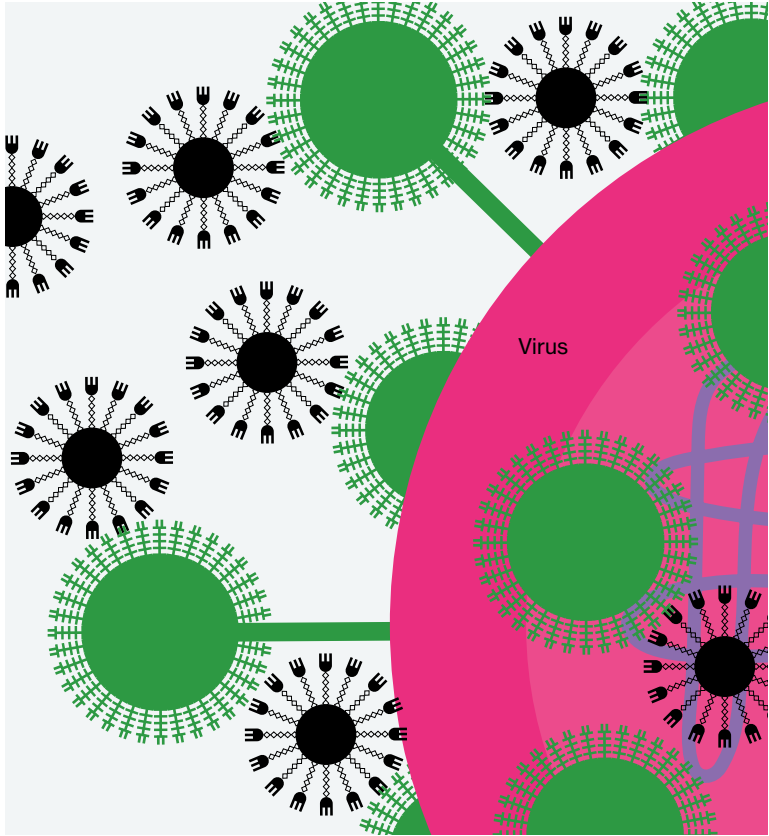
Die Forschenden um Stellacci haben seit Frühling 2020 zwei Versionen solcher Breitband-Antivirotika entwickelt. Denn es werden als «Attrappen» zwei unterschiedliche Zuckermoleküle benötigt. Nur so können möglichst viele verschiedene Virenarten «angelockt» und gesprengt werden. Der erste Wirkstoff soll der Behandlung von Covid-19, Zika-Virus-Infektionen, Dengue-Fieber und anderen viralen Erkrankungen dienen. Der zweite Wirkstoff soll insbesondere das breite Spektrum der Grippeviren angreifen.

Vielversprechende erste Tests

Die beiden Wirkstoffe waren schon im Corona-Jahr 2020 für erste Studien mit Tierversuchen bereit. Doch es kam zu



- 1 modifiziertes Zuckermolekül
2 Fangarme
3 Universal-Andockstellen
3A spezifische Andockstellen
4 Andockstellen beim Virus



Das spezifische Antivirotikum (schwarz) dockt mittels Schlüssel-Schloss-Prinzip passgenau am jeweiligen Virus an.

auf die wirksamste Form der Virenabwehr, welche die Evolution hervorgebracht hat: Antikörper. Die grosse Stärke von Antikörpern liegt nämlich darin, dass sie zu ganz bestimmten Teilen von Viren passen wie ein Schlüssel ins Schloss. Docken Antikörper an Viren an, sind deren Bindungsstellen besetzt, und die Viren können die menschlichen Zellen nicht befallen.

Passende Antikörper zu jedem Virus lassen sich aus dem Blut von Menschen gewinnen, die eine Viruskrankheit überlebt haben. Solche Überlebenden gibt es zum Glück bei allen Viruskrankheiten. Mithilfe des Blutplasmas von Genesenen wurden unter anderem die Impfstoffe gegen Sars-CoV-2 entwickelt. Nach demselben Prinzip lassen sich auch antivirale Medikamente bauen, ist Francesco Stellacci überzeugt: «Diese Chance wird zu wenig genutzt. Es gibt bisher kaum antikörperbasierte Medikamente gegen virale Krankheiten.»

Fangarme und Antikörper

Stellaccis spezifische Antivirotika werden wie die Breitband-Antivirotika aus modifizierten Zuckermolekülen und Fangarmen bestehen. Sie werden aber um einen Teil des Antikörpers ergänzt, der an das spezifische Virus bindet (siehe Grafik S. 50). Auf diese Art nutzen die Forschenden die Stärke von Antikörpern und umgehen gleichzeitig deren Nachteil: Antikörper blockieren Viren zwar, zerstören sie aber nicht. Diese Aufgabe wird von den Zuckermolekülen und ihren Fangarmen übernommen. Das Resultat wird ein Wirkstoff sein, der die passgenaue Bindung an Viren mit dem Zerstören der Krankheitserreger kombiniert. Es wäre das 2:0 für Lausanne.

Doch gilt es, wie bei den Antibiotika zu verhindern, dass die Viren gegen die Wirkstoffe resistent werden. Deshalb zielen die spezifischen Antivirotika auf sogenannte konservierte Teile von Viren. Damit sind Virenteile gemeint, die kaum mutieren, weil sie zu wichtig für das Überleben des Virus sind. Bindet ein Wirkstoff an einer solchen existenziellen Stelle des Virus, ist die Chance gross, dass er lange wirksam bleibt, weil sich das Virus nicht durch Mutationen davon «befreien» kann.

Gründung eines Forschungszentrums

Die langfristige Unterstützung der Forschung von Francesco Stellacci durch die Werner Siemens-Stiftung soll es ihm ermöglichen, an der EPFL ein Virenkompetenzzentrum aufzubauen, das «Werner Siemens Foundation Center for Antivirals Research». Dessen Ziel ist ambitioniert: Sechs Monate nachdem die Gensequenz eines Virus bestimmt worden ist, soll ein Wirkstoff dagegen bereit sein für klinische Tests. Ein standardisiertes Verfahren, das die verschiedenen spezifischen Wirkstoffe nach identischem Muster aufbaut, soll es möglich machen. So könnte eine effiziente Versorgung mit antiviralen Wirkstoffen für die Schweiz und Europa aufgebaut werden.

Das Team um Francesco Stellacci hat nun bis 2023 Zeit, zu zeigen, dass das Konzept funktioniert. Bis dann sollen neben den Breitband-Wirkstoffen auch erste spezifische antivirale Wirkstoffe im Tiermodell getestet sein. Zudem soll bis dann ein detaillierter Plan zum Aufbau des «Werner Siemens Foundation Center for Antivirals Research» vorliegen.

Verzögerungen, weil die externen Projektpartner mit Covid-19-Impfstofftests ausgelastet waren. Im Mai 2021 konnten die Versuche schliesslich starten und die neuartigen Wirkstoffe auf Sicherheit und Wirksamkeit getestet werden.

Die bisherigen Ergebnisse sind vielversprechend. So zeigt der Wirkstoff gegen Grippeviren einen deutlichen Vorteil gegenüber dem bisher wirksamsten Grippemedikament Tamiflu. Dieses wirkt nur, wenn es innerhalb von 36 Stunden nach einer Ansteckung eingenommen wird. Die Symptome einer Grippe zeigen sich aber meist erst nach etwa 24 Stunden. «Bis jemand dann noch medizinische Hilfe aufsucht und Tamiflu einnimmt, ist das Zeitfenster der Wirksamkeit oft schon vorbei», so Stellacci. Der Wirkstoff seines Teams wirkt auch später im Krankheitsverlauf und ist deshalb deutlich praxistauglicher.

Getestet wurde auch der Wirkstoff gegen Sars-CoV-2 und verwandte Viren. Er erwies sich in ersten Tierversuchen als toxikologisch unbedenklich und seine Wirksamkeit war vielversprechend. Bis 2023 sollen beide Breitband-Wirkstoffe umfassend im Tiermodell getestet sein, sodass anschliessend klinische Studien beginnen können.

Spezifische antivirale Medikamente

Die Werner Siemens-Stiftung, die seit letztem Jahr Stellaccis innovatives Forschungsvorhaben unterstützt, will ihn nun langfristig fördern. Diese finanzielle Zusage ermöglichte es dem Forscher, sich 2021 einem weiteren «Traum»-Projekt zuzuwenden. Um Menschen – und auch Tiere und Pflanzen – vor Viruskrankheiten zu schützen, werden Breitband-Antivirotika nämlich nicht in jedem Fall genügen. Die Situation

ist vergleichbar mit Krankheiten, die durch Bakterien verursacht werden: «Auch das beste Breitband-Antibiotikum wirkt nicht gegen jedes Bakterium», erklärt Stellacci. Bei einem gravierenden bakteriellen Infekt wird als Erstes ein breit wirksames Antibiotikum verabreicht – meist Penicillin. Oft genügt dies, um wieder gesund zu werden. Falls nicht, wird der Erreger im Labor genau bestimmt und mit Antibiotika bekämpft, die spezifisch gegen diese Bakterienart wirken.

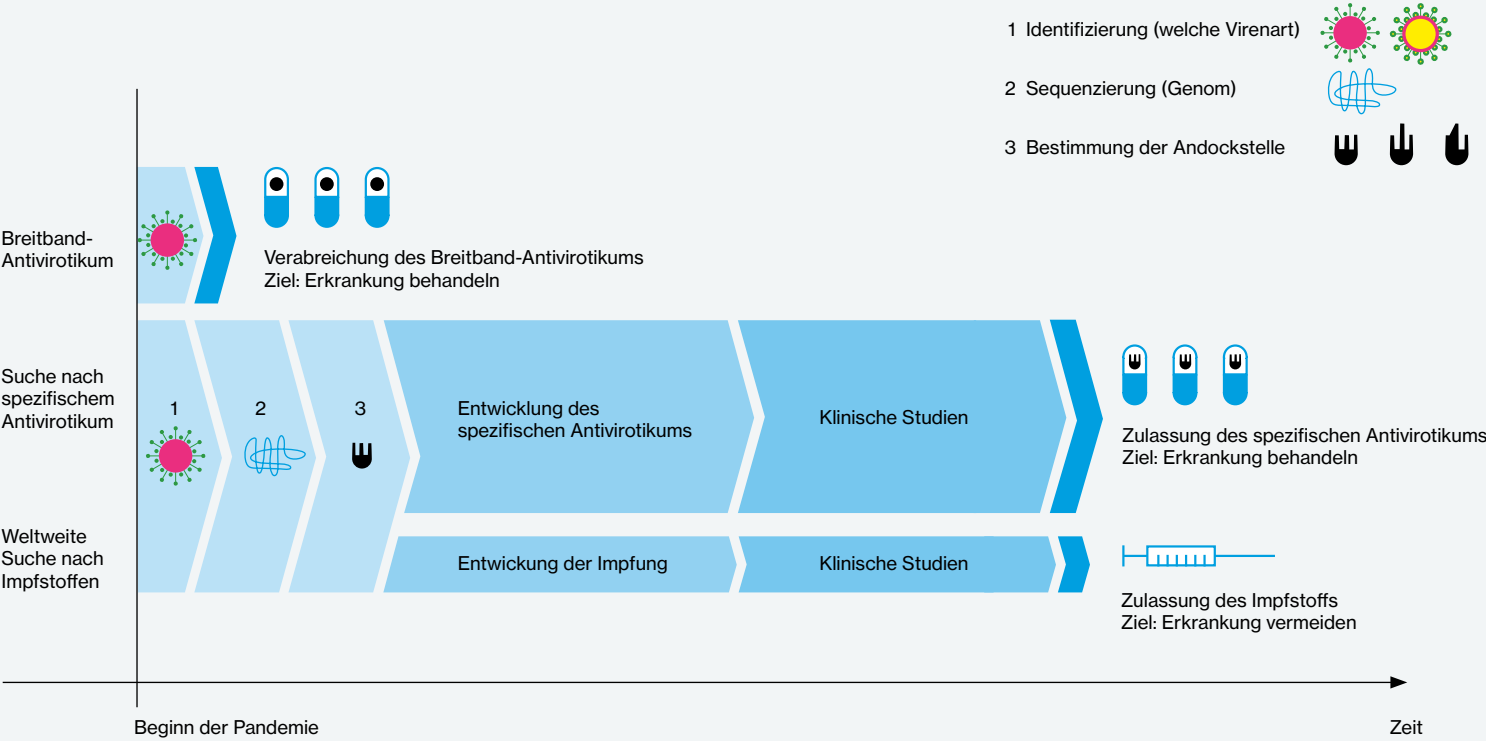
Analog dazu schwebt Stellacci die zukünftige Standardbehandlung bei Viruserkrankungen vor: Zuerst soll eine erkrankte Person das passende Breitband-Antivirotikum erhalten. Reicht dieses nicht aus, wird die Virenart im Labor bestimmt, und der Patient oder die Patientin erhält dann ein spezifisches Antivirotikum.

Um solche spezifischen Antivirotika zu entwickeln, wollen die Forschenden ein standardisiertes Verfahren schaffen. Das soll ihnen ermöglichen, in kürzester Zeit Wirkstoffe gegen bereits bekannte sowie neu auftretende Viren herzustellen. Wie nötig dies ist, zeigt die Erfahrung aus der Covid-19-Pandemie. Es konnten zwar sehr rasch Impfstoffe entwickelt werden, die Suche nach Medikamenten jedoch, die gezielt gegen das Coronavirus wirken, gestaltet sich deutlich schwieriger.

Körpereigene Abwehr als Vorbild

Um seinen Traum von spezifischen Antivirotika wahr werden zu lassen, will Francesco Stellacci zwei Ansätze kombinieren: zum einen den Ansatz seiner Breitband-Antivirotika, welche Viren durch mechanischen Druck zerstören sollen. Zum anderen setzt er für die spezifischen Antivirotika

Wie das Projekt von Professor Stellacci hilft, zukünftige Pandemien zu bekämpfen



Wie lange die Entwicklung von Antivirotika und Impfstoffen dauert, kann nicht genau vorhergesagt werden. In der Grafik wird davon ausgegangen, dass die Entwicklung des Breitband-Antivirotikums vor der nächsten Pandemie erfolgt ist.

«Unser Virenzentrum wird sich weltweit vernetzen»

Die nächste Pandemie kommt bestimmt, ist Francesco Stellacci überzeugt. Wollen wir gewappnet sein, ist internationale Kooperation und innovative Forschung angesagt – etwa im neu zu gründenden «Werner Siemens Foundation Center for Antivirals Research», dessen Etablierung die Werner Siemens-Stiftung finanziert.



Konnte dank der Unterstützung der Werner Siemens-Stiftung mit dem Testen seiner innovativen antiviralen Wirkstoffe beginnen: Projektleiter Francesco Stellacci auf dem Gelände der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), wo das geplante Virenforschungszentrum angesiedelt werden soll.

Professor Stellacci, wie haben Sie das Pandemiejahr 2021 erlebt?

Francesco Stellacci: Es war für uns alle ein anstrengendes Jahr. Positiv ist, dass wir heute so viel über das Sars-CoV-2-Virus wissen wie sonst wohl über kein anderes Virus. Und das in Rekordzeit: Im Dezember 2019 trat das Virus erstmals auf, im Frühling 2020 war sein Genom sequenziert und die Antikörper dagegen waren identifiziert. Es hätte wohl niemand gedacht, dass die weltweite Forschungsgemeinschaft zu einer solch schnellen, gemeinsamen Aktion fähig ist. Ich gehe davon aus, dass es bei neuartigen Viren in Zukunft sogar noch schneller als bei Covid-19 gehen wird. Denn jetzt haben wir die Erfahrung und eine Infrastruktur, die vor der Pandemie nicht zur Verfügung stand.

Impfstoffe gegen Sars-CoV-2 liegen vor. Wie wichtig ist die Suche nach Medikamenten jetzt noch?

Eine Impfung ist immer das oberste Ziel bei Viruserkrankungen. Aber vergessen wir nicht: Es wird nie so sein, dass die Menschen auf der ganzen Welt gleich schnell geimpft sind. In Afrika etwa wird es noch lange dauern oder vielleicht nie der Fall sein, dass alle geimpft sind, die dies wünschen. Auch das Testen von Impfstoffen an Menschen ist ein Risiko, das entspannter eingegangen werden kann, wenn Medikamente gegen die Viruserkrankung vorliegen. Medikamente geben uns die Zeit, einen Impfstoff zu entwickeln. Wobei es noch immer viele Viren gibt, wie etwa das HIV, gegen die bis heute kein Impfstoff verfügbar ist. Für das Coronavirus haben wir Impfstoffe mit einem unglaublich hohen Wirkungsgrad. Das ist längst nicht bei jeder Impfung der Fall. Was, wenn die nächste Pandemie von einem Virus ausgeht, das sich so effektiv gegen eine Impfung wehren kann wie das HIV? Aus all diesen Gründen werden antivirale Medikamente immer wichtig sein.

Müssen wir denn mit weiteren Pandemien rechnen?

Allerdings. Seit den 1970er-Jahren beschäftigen uns rund alle vier Jahre neue Viren in der Form von Pandemien oder Epidemien – vom HIV bis zum Coronavirus. Die Zunahme der Weltbevölkerung und die Globalisierung sorgen dafür, dass dies in Zukunft sogar noch häufiger geschehen wird. Es gibt viele Viren, die dafür infrage

kommen. Die grösste Gefahr geht von solchen aus, die Krankheiten der Atemwege auslösen. Da sie über die Luft übertragen werden, ist der Schutz vor ihnen am schwierigsten. Meiner Einschätzung nach ist es am wahrscheinlichsten, dass Grippeviren eine nächste Pandemie auslösen werden, weil sie jährlich in leicht mutierter Form auftreten. Es könnte auch sein, dass uns das neue Coronavirus in ähnlicher Weise erhalten bleibt.

Wie können wir uns gegen Pandemien wappnen?

Es ist dringend nötig, sich baldmöglichst in Ruhe auf globaler Ebene zusammenzusetzen und das zukünftige Vorgehen zu definieren: Welches ist das richtige Vorgehen, wenn sich eine Pandemie abzeichnet? Wie sieht die Arbeitsteilung aus? Wir müssen in die Zukunft schauen und besser vorhersehen, welche Bedrohungen auf uns zukommen könnten. Und wir brauchen mehr Forschung zu Viren. Bis heute gibt es nur wenige spezifische antivirale Medikamente, und die Entwicklungszeit für neue Wirkstoffe ist sehr lang. Das muss sich ändern.

An der EPFL soll ein Zentrum für antivirale Forschung entstehen. Wie wird das aussehen?

Im Moment sind wir dabei, das neue Zentrum zu definieren. Wir dürfen bis 2023 eine Vision und ein Konzept formulieren, über welche die Werner Siemens-Stiftung dann konkret befinden kann. Die Motivation ist klar: Von Viren ausgelöste Erkrankungen sind in der Geschichte der Medizin zu lange vernachlässigt worden. Das spiegelt sich auch darin wider, dass es in Europa beispielsweise sehr viele Krebsforschungszentren gibt, aber nur wenige Zentren für Virenforschung. Diese Lücke will das neue Zentrum an der EPFL schliessen helfen. Wir wollen zu einem der bedeutendsten Virenforschungszentren in Europa werden. Unser Zentrum wird sich weltweit vernetzen und sein Wissen austauschen. Damit wir den Kampf gegen zukünftige Pandemien gewinnen und gefährliche Viruserkrankungen behandeln können.

Warum ist Lausanne der richtige Ort dafür?

Bereits haben mehrere Forschungsgruppen der EPFL ihr Interesse bekundet, an einem solchen Zentrum

mitzuarbeiten. Es sind Gruppen, die bereits in der Virenforschung tätig sind, aber auch solche, die mit neuen Ideen in diesen Bereich einsteigen möchten. Im neuen Zentrum würden also neben dem Ansatz meiner Gruppe auch andere Strategien gegen Viren verfolgt werden. Das ist grossartig, denn wir brauchen die Diversität von Ideen, um die Erfolgchancen zu erhöhen. Das Ziel, Viren zu bekämpfen, ist zu wichtig, um nur auf eine Karte zu setzen. Und wenn es uns gelingt, neben der Förderung durch die Werner Siemens-Stiftung noch zusätzliche Mittel einzuwerben, können wir nicht nur antivirale Medikamente entwickeln, sondern zum Beispiel auch zu Impfstoffen gegen Viruserkrankungen forschen.

Wenn alles klappt, wird der Aufbau des Zentrums also 2023 beginnen?

Ja – wobei wir bereits mit der im Frühling 2021 erhaltenen zweiten Förderung der Werner Siemens-Stiftung beginnen konnten, Geräte für die Virenforschung anzuschaffen und für die gesamte EPFL verfügbar zu machen. Dies erlaubt es, die Forschungsgruppen zusammenzubringen. Und diese haben die Möglichkeit, sofort mit dem Testen neuer Ideen für antivirale Wirkstoffe anzufangen. Im besten Fall werden wir also bereits neue, Erfolg versprechende Ansätze der Virenbekämpfung entwickelt haben, wenn wir 2023 offiziell das «Werner Siemens Foundation Center for Antivirals Research» eröffnen.

Zahlen und Fakten

Projekt

Francesco Stellacci arbeitet an anti-viralen Medikamenten, die Viren mittels mechanischem Druck zerstören. Zum einen entwickelt er mit seinem Team Breitband-Antivirotika. Zum anderen wollen die Forschenden Wirkstoffe herstellen, die mit Antikörperteilen angereichert sind und sich gegen spezifische Virenarten richten.

Unterstützung

Die Werner Siemens-Stiftung hat das Projekt zu Beginn der Corona-Pandemie im Jahr 2020 für ein Jahr unterstützt und 2021 eine zweite Unterstützung bis 2023 bewilligt. Bis dann sollen Antivirotika mit Breitbandwirkung für klinische Tests bereit sein, und es soll erwiesen sein, dass die standardisierte Herstellung von Antivirotika gegen spezifische Viren machbar ist. Zudem muss bis dann das Konzept für ein «Werner Siemens Foundation Center for Antivirals Research» an der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) vorliegen.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung (2020–2021)

5 Mio. Schweizer Franken

Mittel der Werner Siemens-Stiftung (2021–2023)

4,5 Mio. Schweizer Franken

Projektdauer

2020–2023

Projektleitung

Prof. Dr. Francesco Stellacci,
Supramolecular Nano-Materials and
Interfaces Laboratory (SuNMiL),
Institute of Materials, École
polytechnique fédérale de Lausanne
(EPFL), Schweiz

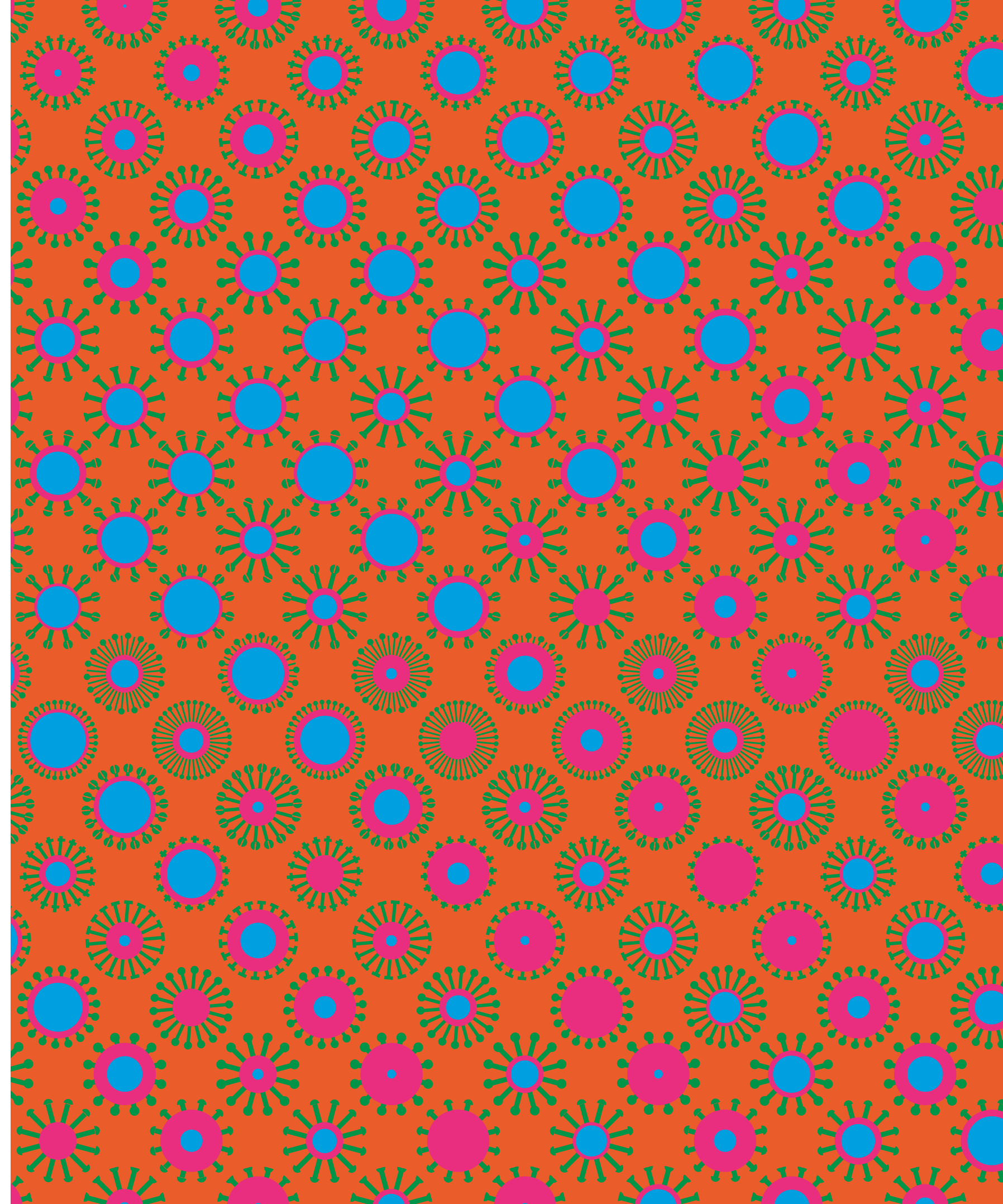


Einige Virenarten sind bis heute eine Gefahr für Mensch und Tier. Am «Werner Siemens Foundation Center for Antivirals Research», dessen Eröffnung für 2023 geplant ist, werden Virenforscherinnen und -forscher aus aller Welt ihr Know-how einbringen, damit gefährliche Viren in Zukunft schnell und wirkungsvoll bekämpft werden können.

breit spezifisch standardisiert

Innovation

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt den neuartigen Ansatz von Francesco Stellacci und seinem Team zur Entwicklung antiviraler Wirkstoffe. Die Virenforschung soll mit der Gründung des «Werner Siemens Foundation Center for Antivirals Research» gestärkt werden, damit die Menschheit vor Pandemien und gefährlichen viralen Erkrankungen besser geschützt werden kann.





All inclusive: MIRACLE II

Minimalinvasive Knochenoperationen mit Laser und neu: Entwicklung intelligenter Bio-Implantate



Spass muss sein. Im 3D Print Lab am Universitätsspital Basel steht eine Skulptur, die nicht ganz ernst gemeint ist. Das Gebilde erinnert an die Hände eines Geistes, so als wollte es darauf hinweisen, dass hier bald alles möglich ist: dass man hier selbst für Geister ein massgeschneider-tes Knochenimplantat aus dem 3D-Drucker herstellen könnte – MIRACLE II.

Alles im Blick und im Griff

Mit einem robotergesteuerten Laser will das Team von MIRACLE II künftig minimalinvasive Operationen an Knochen und Knorpel möglich machen. Dazu hat es ein System aus schlaue zusammenarbeitenden Einzelrobotern entwickelt – vom grossen steuerbaren Roboterarm bis zum winzigen endoskopischen Laser-Skalpell. Bereits arbeiten die Forschenden an der Universität und am Universitätsspital Basel an ersten Anwendungen in der Kniechirurgie. Zudem forschen sie an Knochenimplantaten aus dem 3D-Drucker, die minimalinvasiv eingesetzt werden können.

Wer eine Operation über sich ergehen lassen muss, wünscht sich einen möglichst schonenden Eingriff ohne grosse Schnitte. Bei minimalinvasiven Operationen arbeiten die Chirurginnen und Chirurgen mit Endoskopen, die sie von aussen durch kleine Öffnungen in den Körper einführen und bedienen. Danach sind die Patientinnen und Patienten schnell wieder fit. Solch schonende Eingriffe will das MIRACLE-Team künftig auch für Operationen an Knochen möglich machen. Dazu entwickeln die Forschenden an der Universität Basel und am Universitätsspital Basel ein integriertes und intelligentes Robotersystem, das Knochen schonend und sicher mittels eines Lasers schneiden kann.

Die vier Gruppen von MIRACLE II

Das Vorhaben hat in den letzten Jahren vielversprechende Erfolge erzielt, weshalb es nun für weitere sechs Jahre von der Werner Siemens-Stiftung unterstützt wird. Auch MIRACLE II wird von Philippe Cattin geleitet, er ist Professor für Medizinische Bildanalyse und Direktor des Department of Biomedical Engineering (DBE) der Universität und des Universitätsspitals Basel. Cattin steht der Navigationsgruppe des Projekts vor, die 3D-rekonstruierte CT-Bilder für die Operationen bereitstellen soll. Ebenfalls an MIRACLE II beteiligt sind die Lasergruppe, derzeit geleitet von Azhar Zam, und die Robotik-Gruppe von Georg Rauter.

Neu ist der Kliniker Florian Thieringer zum Team dazugestossen; er leitet die Forschungsgruppe «Swiss MAM – Medical Additive Manufacturing» am DBE und arbeitet als Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurg am Universitätsspital Basel. Das Schneiden der Knochen ist ja nur der erste Teil



Die entwickelten Roboterkomponenten sind schon gut aufeinander eingespielt: Der «medizinische Joystick» erfasst die Stelle am Körper, die operiert werden soll, und der Operateur sieht in der Datenbrille und auf dem Bildschirm ein virtuelles 3D-Modell, das aus den Bildern der Computertomografie rekonstruiert wurde.

einer Knochenoperation, danach muss der defekte Knochen mit einem passenden Implantat repariert werden. Darum sucht die vierte MIRACLE-II-Gruppe «Smart Implants» um den neuen Co-Projektleiter Florian Thieringer nach Wegen, Knochenimplantate individuell an die einzelnen Patientinnen und Patienten anzupassen und sie möglichst minimalinvasiv einzusetzen (siehe Interview auf Seite 66).

Der integrierte Roboter

Das Team um den Gruppenleiter Georg Rauter hat es in der ersten Projektphase bereits geschafft, die für das System nötigen neuen Robotik-Komponenten zu entwickeln. In 2021 konnten diese nun zu einem integrierten Robotersystem zusammengefügt werden. Dessen Basis bildet ein etwa 1,5 m langer Roboterarm, der auf einer Führung neben oder über dem Operationstisch montiert wird, sodass er die Körperstelle erreicht, die operiert werden muss. Am Ende des Roboterarms sind die Motoren für die Steuerung der filigranen Komponenten angebracht, die bei der Operation in den Körper eingeführt werden sollen: Das ist zum einen das robotische Endoskop, das durch seine sechs Gelenke extrem beweglich ist und den Laser im Körperinneren an die richtige Stelle bringen wird. Und zum anderen das eigentliche Laser-Skalpell: ein winziger Roboter, der sich mit zwei «Ärmchen» am Knochen festhalten kann, sodass bis auf einen Zehntel Millimeter genaue Schnitte möglich werden.

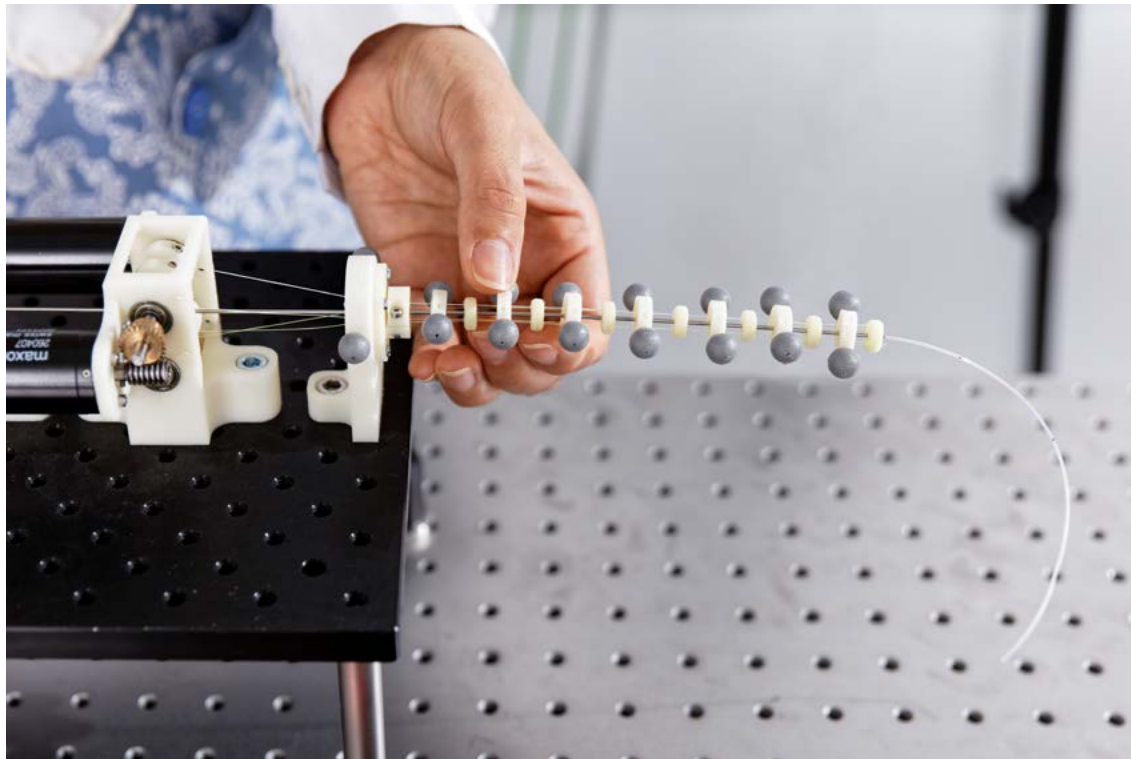
Auch beim Laser selbst haben die Forschenden schon einiges erreicht. Dieser soll beim Knochenschneiden gleich überprüfen, wie tief er schon geschnitten und ob er Knochen oder weiches Gewebe vor sich hat. Dies haben die Laserphy-

siker um Gruppenleiter Azhar Zam durch drei verschiedene Laserquellen möglich gemacht: Der eine Laser schneidet, die beiden anderen Laserstrahlen charakterisieren das Gewebe. Die drei Lichtquellen haben die Forschenden durch ein Zusammenspiel von Blenden, Spiegeln und einer steuernden Software miteinander synchronisiert. Im nächsten Schritt wird die Miniaturisierung dieses Systems im Fokus stehen, um die Laserstrahlen schliesslich aus einer kompakten Quelle durch Glasfasern in die Endoskop-Spitze zu leiten.

Erste Anwendungen am Knie

Bereits prüft das MIRACLE-II-Team die Anwendung für Operationen im Knie. «Das Knie ist das grösste Gelenk im Körper mit den dicksten Knochen», erklärt Georg Rauter, Leiter der Robotik-Gruppe. «Darum ist es ein guter Prüfstein: Wenn wir darin Knochen minimalinvasiv schneiden können, dann geht das auch bei anderen Knochen im Körper.» Auch beim Reparieren von Knorpel im Knie könnte das System helfen. Bei der Entwicklung solch konkreter Anwendungen arbeiten die Forschenden unter anderem mit Chirurginnen und Chirurgen des Universitätsspitals Basel zusammen.

Daneben stattet das Team seine Robotik-Komponenten laufend mit neuen Fähigkeiten aus. So kann das Endoskop mittlerweile dank einer winzigen Kamera und einem schlauen Algorithmus automatisch einem bestimmten Punkt folgen. In der Praxis wird dieser Punkt von der Chirurgin oder dem Chirurgen festgelegt werden – etwa für den Fall, dass die Patientin oder der Patient während der



Zahlreiche Sensoren werden das hochpräzise Steuern der Roboterkomponenten während der Operation ermöglichen.

Operation bewegt oder angestossen wird. Oder für den Fall, dass das Endoskop denselben Punkt aus einem anderen Winkel betrachten und ihn dabei stets im Fokus behalten soll.

Intuitive Handhabung

Ebenso wichtig wie ein funktionierendes Robotersystem ist aber das Handling – also dass die Fachkräfte im Operationssaal das Robotersystem trotz seiner vielen Bewegungsmöglichkeiten einfach bedienen können, gibt Georg Rauter zu bedenken. Dafür sorgt ein neues intuitives kinematisches System, eine Art interaktiver Griff am Roboter. Im Labor demonstriert Postdoktorand Nicolas Gerig den Gebrauch der Maschine am Operationstisch. Er lenkt das Endoskop mit dem Griff sanft und leicht von der Brust des Skelettmodells, das den menschlichen Körper simuliert, bis hinunter zum linken Knie. Da der Roboterarm stolze 11 kg wiegt, haben die Forschenden eine ausgeklügelte Software eingebaut, die die Messwerte der Kraftsensoren am Griff in die richtigen Manöver übersetzt. Aus eigener Kraft könnte niemand während der Operation die 11 kg bewegen.

Augmented-Reality-Steuerung

Damit nicht genug: Das MIRACLE-II-Team hat den Roboter auch in sein Augmented-Reality-System (AR) integriert. Dieses wurde von der Navigationsgruppe unter der Leitung von Philippe Cattin entwickelt. Es rekonstruiert aus CT-Bildern von Patientinnen und Patienten ein virtuelles 3D-Modell, in das Chirurginnen oder Chirurgen mit einer

Datenbrille eintauchen können, um eine Operation zu planen. Künftig sollen diese 3D-Bilder auch direkt während der Operation zum Einsatz kommen. Darum arbeitet Cattin mit seiner Gruppe daran, die dreidimensionalen CT-Bilder mithilfe einer Software automatisch und exakt passend über den Körper der Patientin oder des Patienten auf dem Operationstisch zu projizieren. Und: «Neu lässt sich auch der Roboter direkt aus dieser AR-Umgebung steuern», erläutert Cattin. «Damit haben die Chirurginnen und Chirurgen dann alles auf einmal im Blick: das robotergesteuerte Endoskop, die 3D-rekonstruierten CT-Bilder und natürlich die Patientin oder den Patienten.»

Jede Bewegung muss möglich sein und jede Position muss sitzen: Test des Roboterarms mit dem Laser-Skalpell an der Endoskop-Spitze, im Labor von MIRACLE II in Allschwil bei Basel.



Implantate aus dem Drucker

Wie müssen Implantate beschaffen sein, damit sich mit ihnen defekte Knochen wirksam und schonend reparieren lassen? Mit dieser Frage beschäftigt sich die MIRACLE-II-Forschungsgruppe «Smart Implants» unter der Leitung von Florian Thieringer. Der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurg baut am Universitätsspital Basel eine Plattform auf, um Patientinnen und Patienten mit intelligenten, 3D-gedruckten Knochenimplantaten zu versorgen, die individuell angepasst sind. Ein Gespräch mit dem neuen Co-Leiter von MIRACLE II.



Im Team von MIRACLE II arbeitet ein neuer Kliniker: Der Chirurg Florian Thieringer hat im Projekt die Nachfolge von Hans-Florian Zeilhofer angetreten.



Florian Thieringer, der neue Co-Leiter von MIRACLE II, will personalisierte Knochenimplantate entwickeln, die sich möglichst schonend einsetzen lassen. Im Bild ein Kieferknochenimplantat aus Titan, das durch die Mundhöhle einer Patientin implantiert wurde und den geschwächten Kieferknochen stabilisiert.

Florian Thieringer, Sie lösen mit dem Start von MIRACLE II den inzwischen emeritierten Hans-Florian Zeilhofer als Co-Leiter der MIRACLE-Projektreihe ab. Wie kam es dazu?

Florian Thieringer: Ich studierte Anfang der 2000er-Jahre bei Hans-Florian Zeilhofer, als seine Gruppe gerade zu erforschen begann, wie 3D-gedruckte Implantate komplexe Operationen erleichtern könnten. Etwas vom Wichtigsten, was ich in den zwanzig Jahren Zusammenarbeit mit ihm gelernt habe, ist: Bei der Entwicklung neuer Methoden sollte man über Fachgrenzen hinweg zusammenarbeiten. Darum war es dem bestehenden MIRACLE-Team wichtig, dass auch bei MIRACLE II wieder ein Kliniker dabei ist, ein Chirurg, der regelmässig Patientinnen und Patienten operiert.

Sie entwickeln 3D-Druckverfahren, um Knochenimplantate herzustellen. Warum?

Mit 3D-Druckern können wir Einzelanfertigungen herstellen, die genau auf eine spezifische Person und eine spezifische Operation zugeschnitten sind. So können wir Eingriffe minimal-invasiv durchführen. Ich gebe Ihnen

ein Beispiel: Kürzlich habe ich eine Patientin operiert, deren tumorgeschädigter Kieferknochen stabilisiert werden musste. Auf der Basis der Computertomographie-Bilder der Patientin haben wir ein schlankes, 3D-gedrucktes Titan-Implantat entworfen, das wir ihr durch die Mundhöhle einsetzen konnten, ganz ohne Schnitte aussen am Gesicht. Ähnlich wie in diesem Beispiel können intelligente Implantate auch in vielen anderen Fällen schonender und verträglicher eingesetzt werden als Standard-Implantate.

Werden solche massgefertigten Implantate denn schon regelmässig eingesetzt?

Ja, doch müssen die Krankenhäuser und auch wir am Universitätsspital Basel solche Implantate bislang bei externen Firmen bestellen – das ist noch immer ein teures und vor allem behäbiges Prozedere. Wir wollen das ändern und Einzelanfertigungen routinemässig allen Patientinnen und Patienten des Universitätsspitals zugänglich machen. Dazu haben wir für das hausinterne 3D Print Lab kürzlich einen neuen 3D-Drucker



Rasche Lieferung von 3D-gedruckten anatomischen Modellen, Operationsschablonen und zukünftig auch von massgeschneiderten Implantaten an die Chirurginnen und Chirurgen: Am Universitätsspital Basel ist das dank des internen 3D Print Lab möglich.



Mit dem neuen, grossen 3D-Drucker (in voller Grösse auf Seite 68 rechts im Bild zu sehen) lassen sich selbstauflösende Implantate und Knochenstrukturen herstellen.

erworben, eine richtig grosse Maschine, die mit Polyetheretherketon (PEEK) druckt. PEEK ist ein Hochleistungskunststoff, den wir in den letzten Jahren intensiv als Material für Implantate erforscht haben. Bereits ab Anfang 2022 werden wir mit dem neuen 3D-Drucker in wenigen Stunden patientenspezifische Implantate fertigen können, und zwar nahe den Operationssälen, am Point-of-Care also. So integrieren wir die intelligenten Implantate nahtlos in die bestehenden Behandlungsabläufe, damit sie möglichst vielen Patientinnen und Patienten zugutekommen. Das hat sich schon bei den anderen Geräten unseres 3D Print Lab bewährt.

Wozu wurden die 3D-Drucker bisher verwendet?

Die Chirurginnen und Chirurgen des Universitätsspitals Basel nutzen das ins Spital integrierte 3D Print Lab beispielsweise, um chirurgische Schablonen oder patientenspezifische anatomische Modelle herzustellen. Solche Modelle sind wertvolle Werkzeuge, um Operationen zu planen und die Eingriffe mit den Patientinnen und

Patienten zu besprechen. Auch in der Ausbildung von angehenden Ärztinnen und Ärzten sind 3D-gedruckte Modelle äusserst nützlich. Ob in der Ausbildung oder zur Planung von Operationen: Wenn man ein dreidimensionales Modell in die Hand nehmen kann, wird die Anatomie im wahrsten Sinn des Wortes fassbarer und dadurch verständlicher. Da das 3D Print Lab in die Behandlungsabläufe integriert wurde, können die Ärztinnen und Ärzte die gewünschten Modelle direkt im zentralen Patienteninformationssystem in Auftrag geben. Zudem lernt die angehende Ärzteschaft am Unispital Basel schon in der Ausbildung, Daten aus bildgebenden Verfahren wie CT oder MRI in eine 3D-Rekonstruktion zu übertragen, die gedruckt werden kann. Dadurch ist der Einsatz von 3D-Druck bei uns inzwischen zum Standard geworden.

Welches sind die nächsten Schritte?

Wir verfolgen verschiedene Ansätze. Beispielsweise wollen wir untersuchen, für welche weiteren Anwendungen 3D-gedruckte Implantate nützlich sein könnten. Ich denke da beispielsweise

an Verunfallte mit Gesichts- oder Kopfverletzungen. Bisher dauerte es zu lange, bis für solche Fälle ein patientenspezifisches Implantat hergestellt und geliefert werden konnte. Nun aber, mit dem neuen 3D-Drucker, können wir solche Anwendungen möglich machen. Ausserdem erforschen wir zusammen mit der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH Zürich), wie sich Implantate kleiner machen lassen, etwa indem man sie wie Origami-Figuren faltet, damit sie sich so minimal-invasiv wie möglich einsetzen lassen. Zudem wollen wir künftig biologische Implantate intensiv untersuchen, genauer: netz- oder wabenartige Gerüste entwickeln, auf denen Knochengewebe nachwachsen kann. Sie könnten eingesetzt werden, um die Knochenregeneration zu fördern, etwa bei Patientinnen und Patienten, die aufgrund von Infektionen Knochenmasse verloren haben. Solche Bio-Implantate lassen sich sogar aus Materialien herstellen, die nach einer gewissen Zeit im Körper abgebaut werden – sprich, sie lösen sich auf, sobald sie nicht mehr gebraucht werden.



Hohe Kunst des 3D-Drucks: Von der Erfahrung am Universitätsspital Basel kann MIRACLE II bei der Entwicklung seiner Bio-Implantate profitieren.

Zahlen und Fakten

Projekt

Die Teams von MIRACLE II wollen schonende minimalinvasive Eingriffe bei verschiedensten Knochenoperationen möglich machen. Dafür entwickeln sie am Department of Biomedical Engineering (DBE) der Universität Basel und am Universitätsspital Basel ein robotergesteuertes System, das Knochen mittels Laser schneidet, sowie individuell an Patientinnen und Patienten angepasste Knochenimplantate aus dem 3D-Drucker.

Unterstützung

Die Werner Siemens-Stiftung finanzierte bereits von 2014 bis 2021 das Vorgängerprojekt MIRACLE. Aufgrund der vielversprechenden Erfolge von MIRACLE unterstützt sie ab 2022 auch das Nachfolgeprojekt MIRACLE II.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung

15,2 Mio. Schweizer Franken für MIRACLE
12 Mio. Schweizer Franken für MIRACLE II

Projektdauer

2015–2021 MIRACLE
2022–2027 MIRACLE II

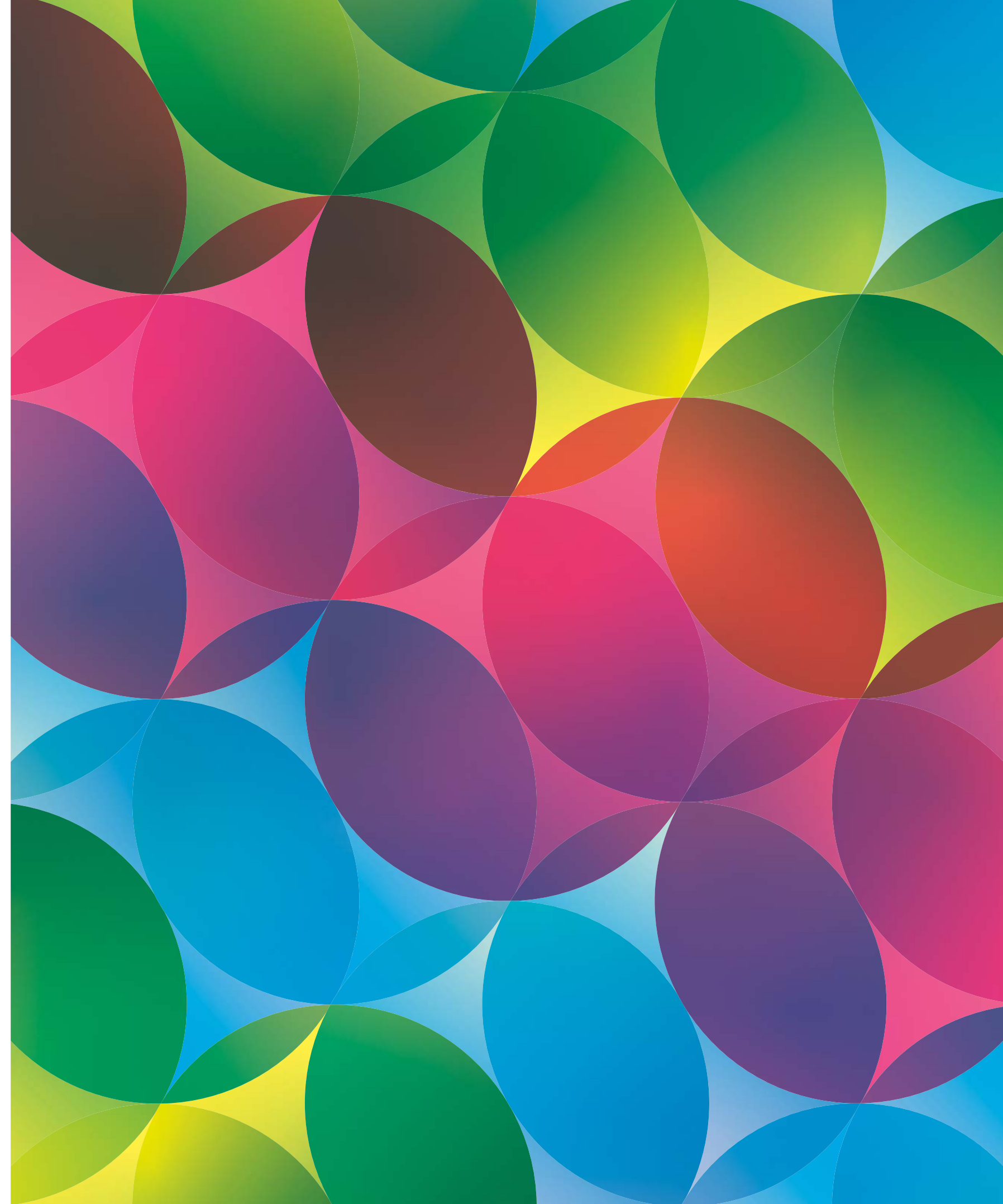
Projektleitung

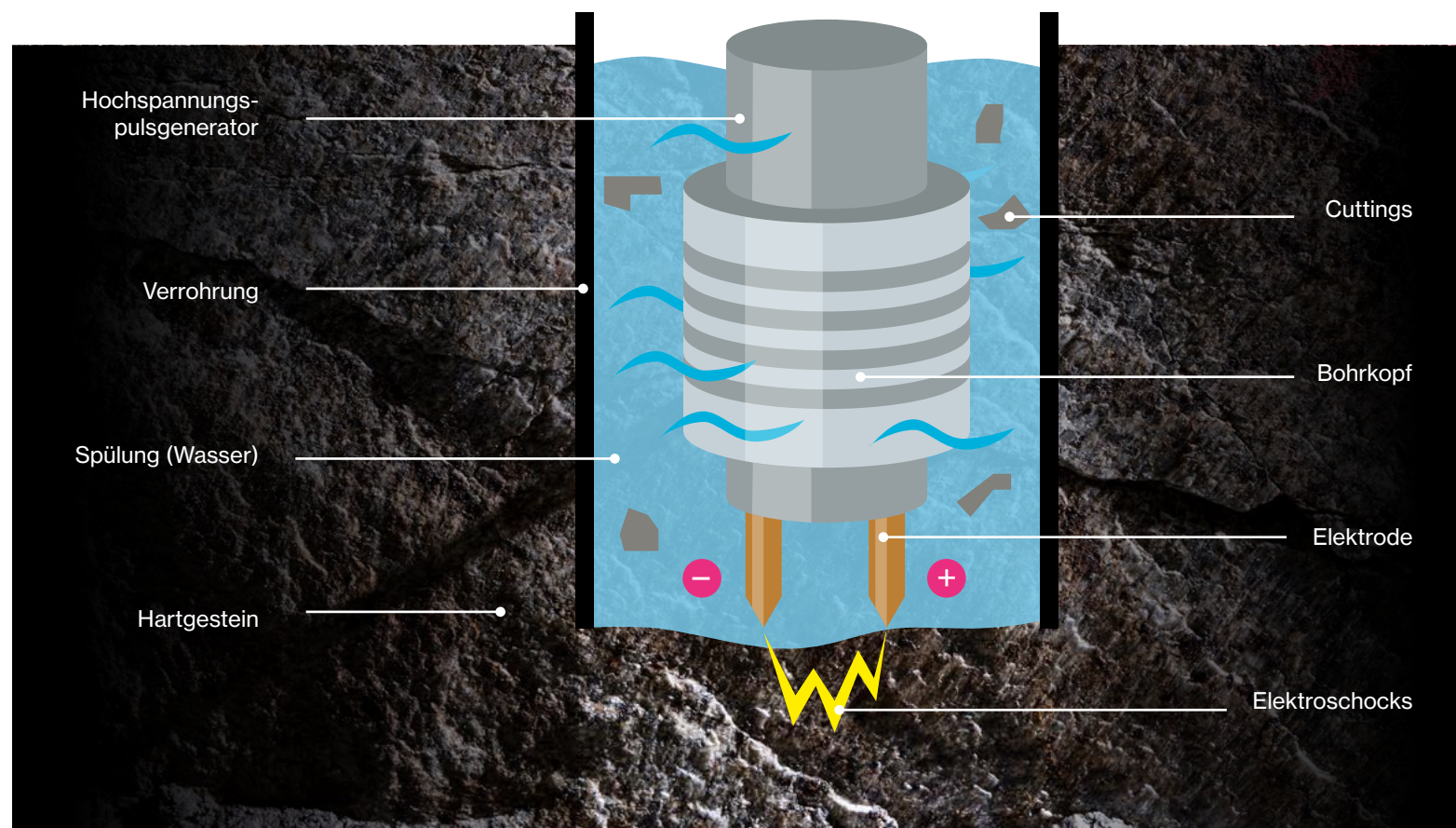
Prof. Dr. Philippe Cattin, Professor für Medizinische Bildanalyse und Leiter des Department of Biomedical Engineering (DBE) an der Universität Basel, Schweiz
PD Dr. mult. Florian M. Thieringer, Leiter der Gruppen «Medical Additive Manufacturing» (Swiss MAM) und «Smart Implants» am DBE; Co-Leiter von MIRACLE II und des 3D Print Lab sowie Kaderarzt im Team der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie am Universitätsspital Basel, Schweiz

schonend minimalinvasiv massgeschneidert

Innovation

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt MIRACLE II, weil das Ziel des Vorgängerprojekts in Sichtweite ist: Knochenoperationen minimalinvasiv, roboterunterstützt und computergesteuert durchzuführen. Die Teams von MIRACLE II wollen zudem personalisierte Implantate aus dem 3D-Drucker entwickeln, die bei Operationen von defekten Knochen minimalinvasiv eingefügt werden können.





Blitzen statt bohren: Der Elektropuls-Bohrer dringt mittels Elektroschocks in die Tiefe vor. Diese sind ähnlich schnell und heftig wie Blitze und erzeugen ein Plasma im Gestein.

Blitze schleudern im Untergrund

Update zur Werner Siemens-Stiftungsprofessur «Geothermische Energie und Geofluide» an der ETH Zürich

Die Erdkruste ist ein gigantischer Wärmespeicher. Die Krux ist, dass sich dieses nie versiegender Energiereservoir schlecht anzapfen lässt. Ein Elektropuls-Bohrer, den der Geophysiker Martin O. Saar entwickelt hat, könnte die Lösung sein, um an die Wärme in der Tiefe zu gelangen und sie wirtschaftlich in Strom umzuwandeln.

Wärmepumpen und Erdwärmesonden, mit denen Wohnhäuser beheizt werden, arbeiten mit relativ geringen Temperaturunterschieden. Es reicht schon, wenn die Sondenflüssigkeit eine Erdwärme von 10 Grad aufnimmt, die in weniger als 100 Metern Tiefe zu finden ist. Zur Erzeugung von Strom sind jedoch höhere Temperaturen nötig, die meist erst kilometertief greifbar werden, ausser in vulkanischen Regionen wie Island. An diesem Problem wird seit Jahrzehnten geforscht, denn nur in wenigen Gebieten der Welt ist der Untergrund so durchlässig, dass aus einem Reservoir einfach heisses Wasser zur Energiegewinnung nach oben gepumpt werden könnte. Wo der Untergrund undurchlässig ist, muss das Gestein zuerst aufgesprengt werden. Bei dieser petrothermalen Geothermie in 5 bis 8 Kilometern Tiefe wären dazu künstliche, schwer kontrollierbare Erdbeben nötig. Zudem ist das Wasser oftmals salzgesättigt – beim Abkühlen kann es zu Ausfällungen kommen. Das verstopft Gesteinsporen und Pumpen. Nicht zuletzt nutzen sich die Bohrer bei solchen tiefen Bohrungen so stark ab, dass die Bohrköpfe täglich ersetzt werden müssen.

Elektroschock fürs Gestein
Professor Martin O. Saar arbeitet deshalb mit seiner Forschungsgruppe an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH Zürich) und Partnern aus der akademischen und der industriellen Forschung auch an der Entwicklung neuer Bohrmethoden. Eine vielversprechende Methode, die bereits getestet wird, ist das Elektropuls- oder Plasma-Bohren, das die Forschenden «Plasma Pulse Geo Drilling» (PPGD) nennen. Beim PPGD werden kurze Elektroschocks von weniger als 500 Nanosekunden mit einer riesigen Spannung von bis zu 600 000 Volt erzeugt. Dabei bewirken zwei am Gestein anliegende Elektroden wie bei einem Blitz einen Plasmazustand (4. Aggregatzustand) im Gestein. Die schlagartige Wärmeausdehnung und der Plasmadruck brechen das Gestein mechanisch auf. Das herkömmliche Bohrprinzip wird dabei auf den Kopf gestellt, denn der Druck wird nicht von oben nach unten ausgeübt, sondern eine Zugkraft sprengt das Gestein von unten nach oben. Der grosse Gewinn dabei: Wirkt auf das Gestein eine Zugkraft ein, bedarf es nur eines Viertels der Energie zum Aufbrechen.

Generator verkleinern

Eine Herausforderung ist derzeit die Grösse des Pulsgenerators, der die 600 000 Volt erzeugt. Noch ist er so gross, dass er einen Schiffscontainer als Faradayschen Käfig benötigt. Saars Ziel ist es, den Generator bis auf einen Durchmesser von 50 Zentimetern zu verkleinern, damit er mehrere Kilometer tief in ein enges Bohrloch versenkt werden kann. Der Pulsgenerator muss in das Bohrloch hinein, damit die Elektropulse direkt am Bohrkopf erzeugt werden können. Würden die Pulse durch kilometerlange Kabel geleitet, würde der Anstieg der Hochspannungspulse zu langsam geschehen, sodass es zum Kurzschluss zwischen den Elektroden direkt in der Bohr-Spülflüssigkeit käme. Nur «Hochgeschwindigkeitsblitze» gehen wie gewünscht bogenförmig durch das Gestein, wodurch es nach oben aufgebrochen wird.

Seitlich bohren

Die Elektropuls-Bohrungen testet Martin O. Saar bereits mit dem Geoenergie-Kraftwerke-Bauer «Swiss-GeoPower», finanziell unterstützt von

einem Innosuisse Grant der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung. «SwissGeoPower» hat das PPGD in den letzten Jahren massgebend weiterentwickelt. Auch die «Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie» in Deutschland ist an den Tests beteiligt. «Dieses Verfahren wäre ein Durchbruch, weil das Bohren viel billiger wäre und geothermische Energie aus besonders grossen Tiefen von mehr als 4 Kilometern endlich konkurrenzfähig würde», sagt Martin O. Saar.

Ausserdem würde möglich, was traditionelle rotierende Bohrer nicht können: Hohlräume im Untergrund schaffen, die grösser als das Bohrloch darüber sind. Der Elektropuls-Bohrer kann nämlich auch seitlich bohren, und sogar gemäss komplexen geometrischen Anordnungen, und das präzise in bis zu 10 Kilometern Tiefe. Damit liessen sich bessere Verbindungen zwischen einem Bohrloch und einem Hitzereservoir herstellen. Wirtschaftlich attraktiv und ganz ohne Fracking könnten so Fluide und Energie aus extrem tiefem Untergrund entnommen oder darin gespeichert werden. Das wäre nicht nur für die Geothermie nützlich, sondern auch für die Energie- und CO₂-Speicherung, die Grundwassernutzung, die Öl- und Gasförderung und für nukleare Endlager.

Grosse Unterstützung

Die Zeichen stehen gut: Im Oktober 2021 hat Martin O. Saar als leitender Forscher eines Verbunds von Forschungsgruppen der ETH Zürich, des Paul Scherrer Instituts und der Fachhochschule OST und privaten Unternehmen eine erneute Projektunterstützung in Form eines Innosuisse Flagship Grants im Wert von knapp 12 Millionen Schweizer Franken erhalten. Damit kann die Verkleinerung des Hochspannungspulsgenerators mit vereinten Kräften angegangen werden.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
10 Mio. Schweizer Franken

Projektleitung

Prof. Dr. Martin O. Saar, Werner Siemens-Stiftungsprofessor für Geothermische Energie und Geofluide an der ETH Zürich, Schweiz

Projektdauer

2014–2023

Der Berg als riesiger Sensor

Update Tiefengeothermie im Bedretto-Untergrundlabor in den Schweizer Alpen

Das weltweit einzigartige Bedretto-Untergrundlabor stösst auf grosses internationales Interesse. Damit darin mehr Experimente zur Tiefengeothermie durchgeführt werden können, wird es dank der Unterstützung der Werner Siemens-Stiftung im Winter 2021 erweitert. Im stillgelegten Belüftungsstollen des Furka-Tunnels der Matterhorn Gotthard Bahn wird ein weiterer Kilometer restauriert und eine zweite Kaverne zu einem Untergrundlabor umgebaut. Gleichzeitig laufen Experimente, die das sichere Betreiben von Geothermie zum Ziel haben.

Für das Bedretto-Untergrundlabor im südwestlichen Gotthardmassiv interessieren sich mehr Forschungsgruppen, als darin Platz haben. Dank der Unterstützung der Werner Siemens-Stiftung kann nun ein zweites Untergrundlabor gebaut werden, das den Nachfragestau beheben wird.



Ein Besuch im Bedretto-Untergrundlabor ist eine Art Zeitreise durch die Geologie des Gotthardmassivs. Gut 2 km weit ist der Weg vom Tunnelportal im Tessiner Dorf Ronco durch das Innere des Piz Rotondo bis zur 100 m langen Kaverne, wo die Forschenden ihr Untergrundlabor eingerichtet haben. «Es ist ein Spaziergang durch die ganze Alpengeschichte», sagt Projektleiter Domenico Giardini, Professor für Seismologie und Geodynamik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH Zürich). «Die Entwicklung von Hunderten von Millionen Jahren zeigt sich an diesem Ort.»

Schon bald wird man noch länger durch Gneis und Granit spazieren können. Voraussichtlich ab April 2022 wird ein zweites Labor in Betrieb genommen. 500 m weiter innen im Berg befindet sich nämlich eine weitere Kaverne von insgesamt mehr als 80 m Länge, die mit einem Durchmesser von 6 m ideale Voraussetzungen für ein zweites Untergrundlabor bietet.

Zweites Untergrundlabor

Dank der Unterstützung der Werner Siemens-Stiftung und in Absprache mit der Tunneleigentümerin kann der Ausbau nun realisiert werden. Auf einem weiteren Kilometer des Stollens wird der Weg gepflastert, die Decke verstärkt und jede Schwachstelle abgesichert. Zudem werden Netzkabel, Stromkabel und Wasserrohre verlegt, eine Lüftung sowie Monitoring- und Sicherheitssysteme installiert. Die Bauarbeiten haben im Winter 2021 begonnen und werden rund ein halbes Jahr dauern. «Durch den Ausbau verdoppeln wir die Kapazitäten für die weitere Forschung», sagt Projektleiter Giardini. «Wir kaufen uns Zeit und Felsvolumen.»

Der Ausbau der zweiten bestehen- den Kaverne zum Labor zeichnete sich schon früh als Wunsch ab. «Doch hätten wir nicht gedacht, dass wir derart schnell mehr Platz benötigen», sagt Giardini. Das grosse internationale Interesse am Labor in den Alpen sprengte rasch die Kapazitäten. So beteiligte sich auch die EU über den Europäischen Forschungsrat (European Research Council, ERC) an der Forschung im Bedretto-Untergrundlabor – mit dem grössten finanziellen Zuschuss (ERC Grant), der je im Fach Erdwissenschaften vergeben wurde. Aber auch zahlreiche Hochschulen und Industriepartner wollten mitmachen.

«Wir kamen zum Schluss, dass wir entweder neue Projekte stoppen oder aber die Erweiterung sofort realisieren müssen», fasst Giardini zusammen.

Im Winter: Geothermie

Das grosse Interesse am Projekt im Gotthardmassiv kommt nicht von ungefähr: Schliesslich gilt Erdwärme (Geothermie) als unabdingbarer Bestandteil auf dem Weg in eine klimaneutrale Zukunft. Denn die bestehenden nachhaltigen Energiequellen Wasser, Sonne, Wind und heisses Thermalwasser werden den Strombedarf im Winter nicht abdecken können. Die Energiestrategie der Schweiz geht davon aus, dass Geothermie bis ins Jahr 2050 rund 7 % des Schweizer Strombedarfs liefern wird.

Die Funktionsweise der Energiegewinnung unter der Erde ist in der Theorie relativ simpel: Zunächst werden zwei Löcher weit ins Erdinnere hineingebohrt. Dort ist das Gestein heiss – in fünf Kilometern Tiefe beispielsweise herrscht eine Temperatur von etwa 150 bis 200 Grad Celsius. Dann wird Wasser ins erste Loch gepumpt. Dieses sucht sich durch feine Risse einen Weg durchs Gestein, bis es zum zweiten Loch gelangt. Da es sich unterwegs stark erhitzt, tritt es dort als Dampf aus. Der Dampf steigt durchs zweite Bohrloch auf und treibt eine Turbine an, die Strom produziert.

Sichere Rissbildung

Gesteinsarten wie Granit sind jedoch von Natur aus zu wenig durchlässig. In diesem Fall wird nachgeholfen, indem hoher Druck Risse im Gestein hervorruft – das Gestein wird «stimuliert», wie es in der Fachsprache heisst. Dies muss sehr vorsichtig geschehen. Sonst besteht die Gefahr, dass starke und damit schädliche Erdbeben ausgelöst werden. Genau das geschah im bekanntesten Geothermie-Projekt der Schweiz, das vor knapp 15 Jahren in Basel lanciert wurde und abgebrochen werden musste.

Nun sucht man im Bedretto-Untergrundlabor nach Wegen, wie die feinen Risse im Granit sanfter produziert werden können. Bereits haben die Forschenden ein geeignetes Verfahren erfolgreich getestet: die Multi-Etappen-Stimulation, bei der die Risse zeitlich gestaffelt und abschnittsweise in der Tiefe provoziert werden. Das entsprechende Projekt heisst «Destress» und wurde 2021 abgeschlos-

sen. «Das ist ein grosser Durchbruch für die geothermische Nutzung», sagt Geophysiker Marian Hertrich von der ETH Zürich, der Manager des Bedretto-Untergrundlabors.

Wärmereservoirs als Alternative

Als alternative Methode prüfen die Forschenden die Energiespeicherung in Wärmereservoirs. Die Idee: Statt in 5000 m Tiefe zu bohren und direkt Strom zu produzieren, könnte im energiereichen Sommer Wasser bis zu einer mittleren Tiefe von 1500 m gepumpt werden, wo es sich erwärmt. Im Winter kann die Energie aus dem Wärmereservoir dann genutzt werden.

Das Prinzip der Wärmespeicherung hat zwei grosse Vorteile. Erstens ist die Gefahr von gefährlichen Erdbeben in geringerer Tiefe um ein Vielfaches kleiner. Zweitens entstehen weniger Kosten – wegen der günstigeren Infrastruktur, aber auch, weil die Energie, die für das Pumpen des Wassers ins Gestein benötigt wird, im Sommer praktisch kostenlos zu haben ist. Schon heute wird an Spitzentagen im Sommer überschüssige Energie produziert. Nur gibt es noch keinen Weg, diese zu speichern. «Deutschland beispielsweise verkauft seinen Strom im Sommer an zwei bis drei Tagen pro Monat zum Negativpreis», sagt Giardini.

Neue Doktorandenprogramme

Doch nicht alle Aspekte der Wärmespeicherung sind bereits restlos geklärt. «Wenn wir grosse Volumen Wasser ins Gestein pumpen, bringt dies erhebliche Spannungsänderungen mit sich. Und das chemische Gleichgewicht wird durcheinandergebracht – das sind komplexe Prozesse», weiss Hertrich.

Diese komplexen Prozesse wollen die Forschenden nun vertieft untersuchen. Dazu haben sich europäische Spitzenuniversitäten im «International Training Network» zusammengeschlossen. 13 Doktorierende der Hochschulen ETH Zürich, TU Delft, RWTH Aachen und Politecnico di Milano testen die Machbarkeit der Methode. «Der Fokus liegt auf der Erstellung und dem sicheren Betrieb von geothermischen Wasserreservoirs», sagt Hertrich. Einen Teil ihrer Untersuchungen werden die Doktorierenden im Bedretto-Untergrundlabor durchführen. Das Programm ist im Herbst 2021 gestartet und dauert drei bis vier Jahre.



Zentraler Bestandteil des zweiten Untergrundlabors wird das Bohrloch sein (auf dem Bild mit rotem Deckel verschlossen). Es muss rund 20 cm Durchmesser aufweisen, damit die zahlreichen aufzeichnenden und überwachenden Sensoren eingeführt werden können.

Internationale Kooperationen

Im Bedretto-Untergrundlabor finden zahlreiche weitere Forschungsprojekte statt – häufig in Zusammenarbeit mit Industriepartnern. Ein Beispiel dafür ist der Einsatz eines neuartigen hochauflösenden Messgeräts namens «Step-Rate Injection Method for Fracture In-Situ Properties» (SIMFIP). Dieses kann direkt im Bohrloch installiert werden und soll es erstmals möglich machen, die Veränderungen im Gestein zu erkennen, bevor das Gebirge überhaupt aktiviert wird. «Sind die Spannungen im Gebirge sehr gross, müssen wir sehr vorsichtig sein», sagt Hertrich. «Diese Technologie könnte dabei sehr hilfreich sein.» Das Messgerät SIMFIP ist ein gutes Beispiel dafür, wie wichtig internationale Kooperationen bei der Erforschung der Energiegewinnung der Zukunft sind: Das Gerät wird von einem US-Forschungsinstitut entwickelt, das Kalibrieren erfolgt in Aachen, Deutschland, die Datenauswertung nimmt ein Forscher der Universität Neuenburg, Schweiz, vor.

Weltweit grösster Sensor

Das Bedretto-Untergrundlabor ist ein weltweit einzigartiges Projekt. «Ein Teil

des Berges wurde zu einem riesigen Sensor umgebaut», so Projektleiter Giardini. Seit vergangenem Sommer ist das hochauflösende Messsystem im Einsatz. Insgesamt sieben bis zu 300 m tiefe Bohrlöcher wurden mit Sensoren bestückt und anschliessend zementiert, damit der Berg nichts von der Installation «bemerkt» und sich wie «normaler» Granit verhält. Dann wird das Gestein in Experimenten stimuliert, damit feine Risse entstehen. Geplant ist eine Stimulation alle ein bis zwei Wochen. «So lange dauert es, bis alles ausgewertet und analysiert ist», so Hertrich. «Die Datenmengen, welche die Sensoren aus den Bohrlöchern liefern, sind riesig.»

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
12 Mio. Schweizer Franken (2018–2026)
und 3,58 Mio. Schweizer Franken für die Erweiterung (2021)

Projektleitung

Prof. Dr. Domenico Giardini, Professor für Seismologie und Geodynamik, ETH Zürich, Schweiz

Projektdauer

2018–2026

Hochsee-Praktikum

Wie geht es dem Meer derzeit, und wie verändert es sich unter dem Einfluss der Klimaerwärmung? Zu diesen wichtigen Fragen sammelt das Kernteam der segelnden Forschungsjacht «Eugen Seibold» – deren Betrieb von der Werner Siemens-Stiftung unterstützt wird – seit zwei Jahren wissenschaftliche Daten. Zu den Expeditionen laden die erfahrenen Meeresforscherinnen und -forscher auch immer wieder Nachwuchskräfte ein. Ende September 2021 war es für drei Studierende der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich soweit: Sie konnten ein zweiwöchiges Praktikum auf der «Eugen Seibold» absolvieren. Eine Fotoreportage über ihren Einsatz auf hoher See.



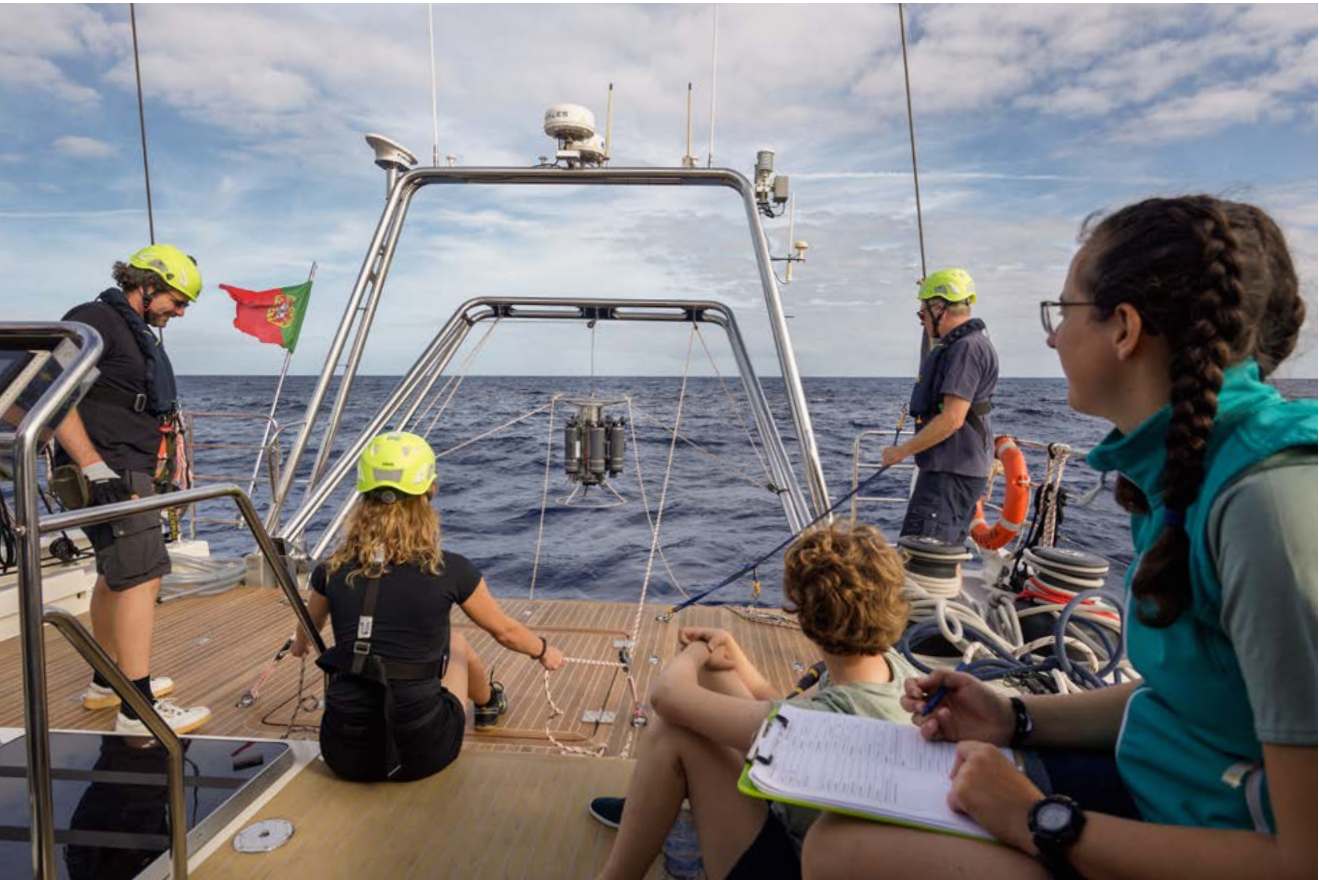
Die Forschungsjacht «Eugen Seibold» und ihre Mission bringen die Praktikantinnen und Praktikanten ins Schwärmen. «Wir wurden sofort voll integriert», sagt etwa der angehende Erd- und Klimawissenschaftler Jonas Schneider. «Das Team ist einfach toll. Geduldig teilen die Profis ihr grosses Wissen mit uns.»



Die drei Studierenden können während des Praktikums einer eigenen Fragestellung nachgehen. Jonas Schneider (2. v. l.) und Sixtine Dromigny (r.) konzentrieren sich auf die physikalischen Eigenschaften des Meerwassers, Janine Schmitter (3. v. l.) interessiert sich für die im Meer lebenden Einzeller. Auf dem Foto schauen die drei ihre erste Planktonprobe an. Projektleiter Ralf Schiebel (l.) hat die vergrösserte Ansicht des Mikroskops live auf den Computer übertragen. Bachelorstudentin Janine Schmitter ist begeistert: «Ich wäre sehr gerne einmal in der Ozeanografie tätig. Das sind wohl die interessantesten zwei Wochen in meinem Leben.»



Der Geologe Ralf Schiebel erklärt den Studierenden auf dem Heck der «Eugen Seibold», welchen Einfluss die Schichtung des Ozeans auf die Strategie der Probenahmen hat.



Das Ausbringen der Wasserschöpfer-Rosette ist anspruchsvoll, denn die Meereswellen versetzen das wertvolle Gerät in Schwingung. Bei Wind können die Auf- und Abwärtsbewegungen heftig werden. Mit Stahlkappenschuhen und Helm vor möglichen Verletzungen geschützt, stabilisiert die Meeresbiologin Hedy Aardema (Mitte) die Wasserschöpfer-Rosette mithilfe von Seilzügen und manövriert sie vorsichtig ins Meer.

Der Platz auf der «Eugen Seibold» ist beschränkt, so wird auch der Boden genutzt. Auf dem Bild erklärt Meeres-Chemiker Hans Slagter (graues T-Shirt) den beiden Praktikantinnen die unter dem Labortisch installierte FerryBox, die die wichtigen physikalischen Umweltparameter Salz-, CO₂- und Chlorophyll-Gehalt, pH-Wert und Temperatur misst. Im Vordergrund befindet sich das Trockenlabor mit den Massenspektrometern, die kontinuierlich den Umsatz von CO₂ und anderen Gasen in der obersten Schicht des Ozeans aufzeichnen.

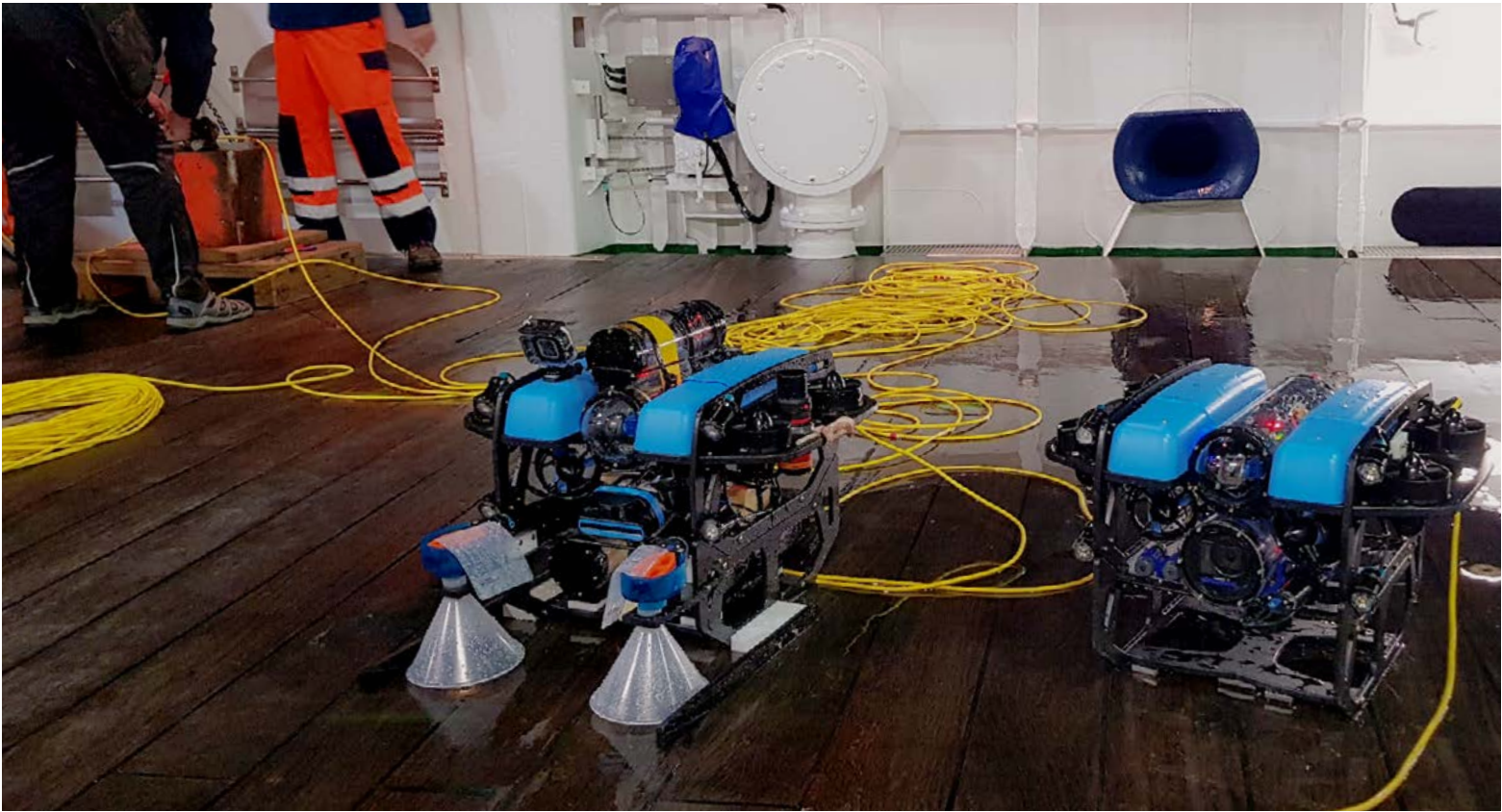


Müde, aber glücklich kehren die Forschenden nach einem langen Arbeitstag in den Jachthafen Marina Rubicón auf der kanarischen Insel Lanzarote zurück. Dort werden sie übernachten – und am nächsten Morgen mit neuem Elan nach 29° N 15° W aufbrechen, um den Zustand des Atlantiks weiter zu erforschen.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
 3,5 Mio. Euro (2015–2019 Bau, Infrastruktur, Tests der «Eugen Seibold»)
 3 Mio. Euro (2020–2030 Betrieb der «Eugen Seibold»)

Projektleitung
 Prof. Dr. Gerald Haug, Direktor der Abteilung Klimageochemie am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz, Deutschland, und Professor an der ETH Zürich, Schweiz
 Dr. Ralf Schiebel, Gruppenleiter Mikropaläontologie am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz, Deutschland

Projektdauer
 2015–2030



Gute Orientierung und Lagestabilität selbst bei stürmischem Wetter: Die beiden ferngesteuerten Mini-ROV bewährten sich bei den Tests in der Nordsee.

Sanfte Roboter in rauer See

Update zum Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung am MARUM der Universität Bremen

Werden die sensiblen Ökosysteme der Tiefsee durch den Abbau von Rohstoffen gestört, hat das verheerende Auswirkungen. Forschende am Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung in Bremen entwickeln nun Unterwasserroboter, die die ökologisch schützenswerten Tiefseeregionen entdecken und kartieren sollen. Bereits vermögen ihre Unterwasserroboter selbst bei starker Strömung ihre Lage zu halten.

Für Smartphones, Elektroautos oder Solarpanels werden grosse Mengen wertvoller Rohstoffe wie Kupfer, Zink oder Kobalt benötigt. Doch deren Vorkommen an Land sind begrenzt, und so erwägen immer mehr Firmen und Nationen deren Abbau im Meer. Ein solcher Tiefseebergbau würde das Leben auf dem Grund der Ozeane für Jahrzehnte zerstören.

Terra incognita
Damit die ökologisch wertvollen Organismen in der Tiefsee geschützt werden können, muss zuerst herausgefunden werden, wo sie sich überhaupt befinden – die Tiefsee ist bis heute Terra incognita, unbekanntes Land. Um das zu ändern, entwickeln Forschende derzeit am Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung am MARUM der Universität Bremen ein spezielles Kartierungssystem. Leiter des Innovationszentrums ist der Umwelttechnologe Ralf Bachmayer, der die Werner Siemens-Stiftungsprofessur innehat.

Starkes Unterwasser-Duo
Die Tiefsee kartieren? Klingt einfach, ist aber hochkomplex. Bachmayer und sein Team gehen die Herausforderung mehrschichtig an: Zwei Tauchroboter bewegen sich im Tandem dicht über

dem Meeresgrund. Der obere ferngesteuerte Tauchroboter (abgekürzt ROV: Remotely Operated Vehicle) erfasst eine grössere Fläche und liefert so einen gewissen Überblick. In diesem Ausschnitt bewegt sich weiter unten ein kleineres, autonomes Unterwasserfahrzeug (abgekürzt AUV: Autonomous Underwater Vehicle); es zeichnet hochauflösend die Details am Boden auf. Details und Übersicht vermitteln zusammen ein aussagekräftiges Gesamtbild.
Damit sich das AUV, welches die Forschenden liebevoll Manatee (auf Deutsch: Seekuh) getauft haben, auch tatsächlich autonom bewegen kann, muss es selbstständig navigieren können. Kein einfaches Unterfangen am Boden der Tiefsee, wo GPS nicht funktioniert und wo das Fahrzeug sehr leicht durch die Strömung abgedriftet werden kann. «Daher ist es ganz wichtig, dass das AUV seine Lage und Orientierung im Wasser halten kann», erklärt Bachmayer. Er und sein Team haben dafür nun ein modulares Kontrollsystem entwickelt und dieses auf einem ferngesteuerten Mini-ROV installiert und getestet.

Nordsee statt Tiefsee
Die Tests konnten wegen der Covid-19-Pandemie jedoch nicht in der Tiefsee durchgeführt werden, da viele Forschungsschiffe monatelang nicht auslaufen durften. Bachmayer und sein Team liessen sich davon nicht entmutigen: «Wir schlossen uns mit der Geologin Miriam Römer von der Universität Bremen zusammen, die eine Ausfahrt in die Nordsee geplant hatte.» Die Geologin wollte das Austreten von Methan am Boden der Nordsee untersuchen.
Die interdisziplinäre Gruppe verliess am 8. Januar 2021 den Hafen der norddeutschen Stadt Emden. An Bord ihres Forschungsschiffes «Maria S. Merian» waren auch zwei ferngesteuerte Mini-ROV. Diese absolvierten in der Nordsee insgesamt zwölf Tauchgänge – trotz des stürmischen Winterwetters und unter dem Diktat der Gezeiten. Während der rund zweistündigen Tauchgänge konnten Bachmayer und sein Team das neue Kontrollsystem auf den Mini-ROV ausführlich testen.

Lage halten und Gas einfangen
Das Kontrollsystem nutzt Sensoren, um Tiefe, Lage und Beschleunigung des ROV zu erfassen. Ein Algorithmus

verrechnet diese Signale und ermittelt daraus die gegenwärtige Orientierung und Bewegungsrichtung. Diese Informationen werden zusammen mit dem angestrebten Bewegungsprofil an die Steuerung weitergegeben und dort zu Steuersignalen für die Antriebe verarbeitet. So kann das Fahrzeug automatisch seine Lage und Orientierung im Wasser beibehalten. «Unser Kontrollsystem hat sich bei den Tauchgängen in der Nordsee bewährt», so Bachmayer. «Es kann in Zukunft auf dem autonomen Manatee zur Anwendung kommen.»
Die Zusammenarbeit mit der Geologin Miriam Römer zeitigte unverhofft einen weiteren Erfolg. Bachmayers Team stellte eine Apparatur her, mit deren Hilfe der kleine Tauchroboter unter Wasser Gasproben entnehmen kann – zum Beispiel Methan-Proben, die Miriam Römer interessierten. So etwas war bisher nur mit grösseren Vehikeln gelungen; die neu entwickelte Apparatur entpuppte sich als eine veritable Erfindung. «Nach diesen Erfolgen gingen alle glücklich und mit einem Lächeln vom Schiff», erzählt Bachmayer.

Mantel für das Manatee
Zurück am Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung in Bremen, stellten die Forschenden für das AUV Manatee eine äussere Hülle aus Thermoplast her, welche die empfindlichen Sensoren und Steuerungselemente im Inneren des Fahrzeugs einschliesst. Wie sich das so ummantelte Manatee im Wasser verhält, haben die Forschenden bereits theoretisch berechnet. Innerhalb des nächsten Jahres wollen sie die Fähigkeiten des sanften Roboters auch in der Praxis testen, dieses Mal in einem offenen Gewässer wie dem Bodensee.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
4,975 Mio. Euro

Projektleitung
Prof. Dr. Michael Schulz, Direktor MARUM – Zentrum für Marine Umweltwissenschaften der Universität Bremen, Deutschland

Projektdauer
2018–2028

Kontrollierte Unreinheit

Update zur Entwicklung optimierter thermoelektrischer Materialien am IST Austria

Ob in Motoren, Kühlschränken oder Wasserleitungen: Thermoelektrische Materialien können theoretisch jegliche Temperaturunterschiede, die irgendwo auftreten, in Elektrizität umwandeln. In der Praxis sind sie aber noch zu wenig effizient und zu teuer. Die Physikerin Maria Ibáñez will mit ihrer Forschungsgruppe am IST Austria optimierte Thermoelektrika entwickeln, die zur Energiegewinnung im Alltag taugen.

Seit Februar 2021 rattert der Marsroboter «Perseverance» auf unserem Nachbarplaneten herum, um Stein- und Bodenproben zu sammeln und nach Hinweisen auf vergangenes Leben zu suchen. Angetrieben wird das unermüdliche Multitalent inklusive seiner Kameras und Messsysteme von einem thermoelektrischen Generator. Dieser enthält ein spezielles Material, das aus Temperaturunterschieden Elektrizität gewinnt: Energiereiche Elektronen wandern darin von der warmen Seite zur kalten Seite und erzeugen eine elektrische Spannung. Solche thermoelektrischen Energiequellen sind zuverlässig und langlebig, jedoch noch ineffizient und teuer. Darum werden sie nur genutzt, wenn keine anderen Energiequellen zur Verfügung stehen und die hohen Kosten im Vergleich zum Gesamtprojekt nicht ins Gewicht fallen – wie bei Raumfahrtmissionen.

Gesucht: das perfekte Material
Das will Maria Ibáñez ändern. Die Leiterin des «Werner Siemens Foundation Center for Research in Thermoelectric Materials» am Institute

of Science and Technology Austria (IST Austria) will neuartige thermoelektrische Materialien entwickeln, die künftig an den verschiedensten Stellen Temperaturunterschiede in Elektrizität umwandeln können. Gelegenheiten gäbe es viele: «Vorstellbar wäre etwa, die Kälte von Kühlgeräten oder die Abwärme von Motoren oder Computern zu nutzen», sagt Ibáñez.

Die Physikprofessorin und ihre interdisziplinäre Forschungsgruppe synthetisieren derzeit zahlreiche thermoelektrische Materialkandidaten und verändern sie auf molekularer Ebene, um ihnen gewünschte Eigenschaften zu verleihen. «Ein thermoelektrisches Material muss gleichzeitig Strom gut leiten und Wärme schlecht, da sein Funktionieren ja auf Temperaturunterschieden beruht», erklärt Ibáñez. Ausserdem soll es aus einem gegebenen Wärmeunterschied möglichst viel elektrische Energie erzeugen.

Wässrige Lösungen

Damit die neuen thermoelektrischen Materialien möglichst kostengünstig werden, nutzt Ibáñez nicht die bisheri-



Bis Ende 2021 wurden die vielversprechenden thermoelektrischen Nanomaterialien von den Forscherinnen und Forschern um die Physikerin Maria Ibáñez noch «von Hand» entwickelt. Ab 2022 arbeitet das Team im neu gebauten Labor mit topmoderner Infrastruktur, was die Suche nach den besten thermoelektrischen Nanomaterialien enorm beschleunigen wird.

gen Herstellungsverfahren, die hohe Drücke oder Temperaturen erfordern. Stattdessen stellt sie mittels wässriger Lösungen Materialien mit genau definierten Nanostrukturen her, und zwar schon bei tiefen Temperaturen von unter 100 Grad Celsius.

Vielversprechende Ergebnisse erzielte ihr Team jüngst mit Zinnselenid (SnSe), dem leistungsstärksten bekannten Thermoelektrikum. Zinnselenid wurde bislang nur in Form von einzelnen Kristallen in einem aufwendigen und teuren Verfahren hergestellt und getestet. Ibáñez dagegen hat es in kurzer Zeit geschafft, zu ihrer flüssigkeitsbasierten Zinnselenid-Synthese mehrere Publikationen einzureichen.

Neues Labor, modernste Geräte

Ihr neues Material, ein Pulver aus Nanokristallen, kommt an die Leistung der Einkristallform nicht ganz heran – viel fehlt aber nicht. Ibáñez ist zufrieden: «Durch diese Entwicklung haben wir viel über die Feinheiten der Synthese und die Ursachen der tieferen Leistung gelernt.» In der Synthese haben sich nämlich Unreinheiten eingeschlichen: Ionen lagerten sich an die Materialpar-

tikel an und beeinflussten die thermoelektrische Leistung, wie Ibáñez' Analysen gezeigt haben. «Mit diesem Wissen können wir nun versuchen, solche Ionen im Herstellungsprozess zu kontrollieren und zu unserem Vorteil zu nutzen. Möglicherweise können wir mit ihrer Hilfe die Leistung sogar steigern», erklärt die Physikerin.

Diese Erkenntnisse werden den Forschenden künftig auch bei der Erforschung weiterer Materialfamilien helfen. Derzeit entwirft Ibáñez eine Hochdurchsatz-Infrastruktur für ihr neues Labor, in das sie Ende 2021 einzieht. Dann wird das Team mehrere Materialien gleichzeitig in mehrere Richtungen weiterentwickeln und analysieren können – und so sehr wahrscheinlich noch schneller als bisher Fortschritte machen.

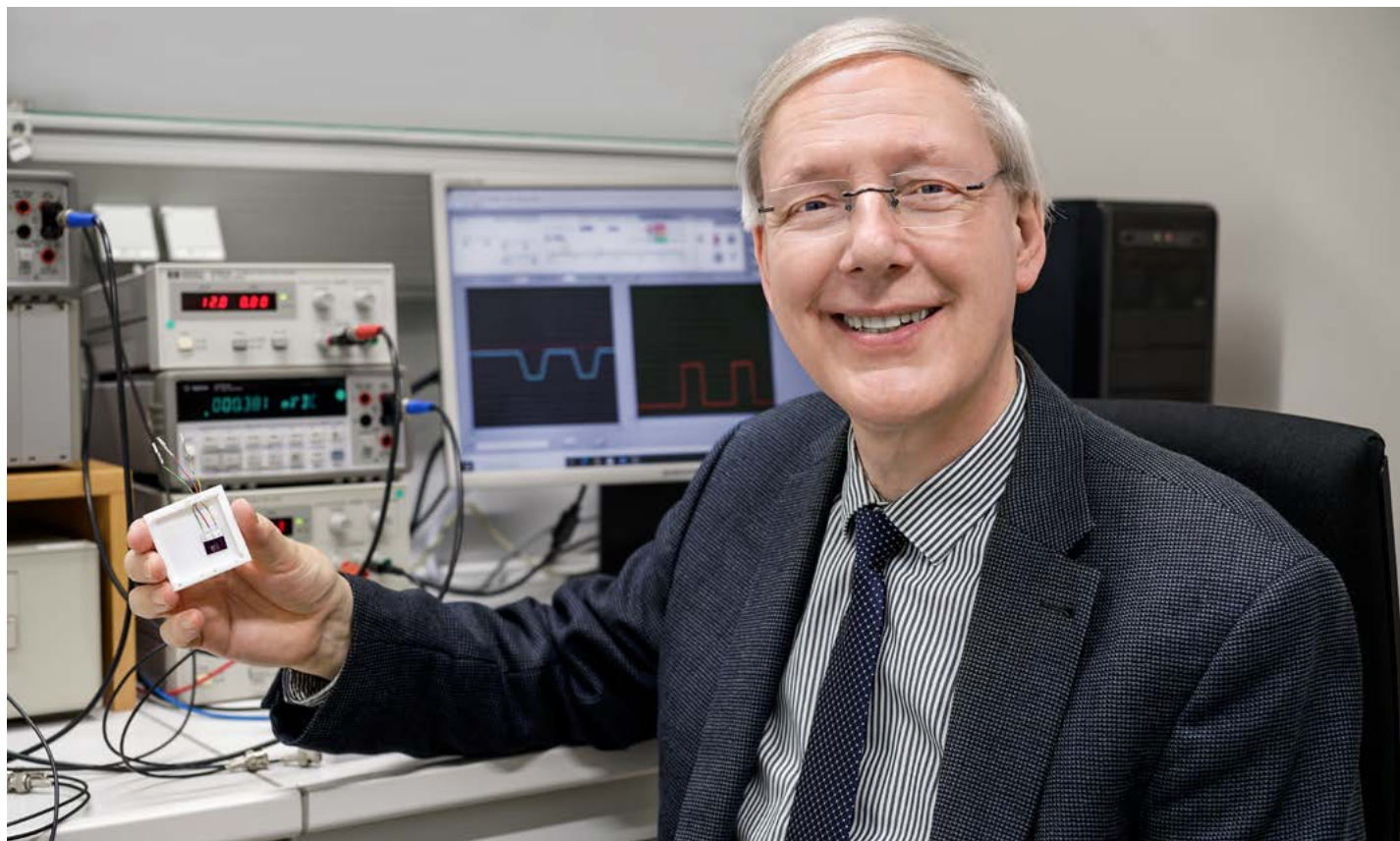
Mittel der Werner Siemens-Stiftung
8 Mio. Euro

Projektleitung
Prof. Dr. Maria Ibáñez, Institute of Science and Technology Austria (IST Austria), Österreich

Projektdauer
2020–2028

Zinn schlägt Silizium

Update zum Zentrum für Einzelatom-Elektronik und -Photonik an der ETH Zürich



Der Physiker Thomas Schimmel hält seine Erfindung, den in Gel gegossenen Einzelatom-Schalter (schwarz), in der Hand – eine grössere Abbildung des Einzelatom-Schalters ist auf Seite 2 dieses Reports zu sehen.

Der enorme Energieverbrauch der digitalen Welt liesse sich um das Zehntausendfache senken – mit dem Einzelatom-Transistor, einer Erfindung des Karlsruher Physikers Thomas Schimmel. Die gewonnene Energie könnte zur Steigerung der Leistung der nächsten Generation von Computern eingesetzt werden.

Wir laden im Fitnessstudio einen Podcast aufs Mobiltelefon, treffen unsere Arbeitskollegen per Zoom und streamen am Abend einen Film. Zu verdanken haben wir diese Annehmlichkeiten einem unscheinbaren, aber mächtigen elektrischen Bauteil in Computern: dem Transistor. Milliarden davon befinden sich auf den Mikrochips. Die Transistoren leisten die eigentliche Rechenarbeit auf unseren digitalen Geräten.

So weit, so gut. Doch die heutigen Transistoren verursachen mittlerweile ein Problem: Sie verbrauchen bei der Informationsverarbeitung enorm viel Energie. «Über zehn Prozent des weltweiten Strombedarfs von Industrieländern fliessen in die Datenkommunikation und -verarbeitung», sagt der Nanotechnologie-Experte Thomas Schimmel vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT). «Wäre das Internet ein Land, wäre es der sechstgrösste Energieverbraucher weltweit.»

Einzelatom-Technologie

Professor Thomas Schimmel ist Forschungspartner im Projekt Einzelatom-Schalter, das seinen Sitz an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich (ETH Zürich) hat und von der Werner Siemens-Stiftung unterstützt wird. Schimmel gilt als Pionier der Einzelatom-Elektronik. Er hat am KIT einen verblüffend sparsamen Einzelatom-Transistor erfunden, mit dem sich der Energieverbrauch von Computern massiv senken lässt. Zusammen mit den Teams der Professoren Jürg Leuthold (Projektleitung)

und Mathieu Luisier von der ETH Zürich versucht er nun, die innovative Erfindung praxistauglich zu machen. Der Einzelatom-Transistor besteht, ähnlich wie ein normaler Lichtschalter, aus einem Schaltelement sowie aus zwei winzigen Anschlüssen (Elektroden), die durch einen Spalt voneinander getrennt sind. Dieser Spalt ist so schmal, dass er etwa dem Durchmesser eines einzelnen Atoms entspricht. Betätigt man den Schalter, so klappt ein einzelnes Metallatom in den Spalt und schliesst den Stromkreis. Der Strom, der dann fliesst, kann eine handelsübliche Elektronik ansteuern und zum Beispiel eine Halogenlampe zum Leuchten bringen, wie Schimmel in seinem Labor am KIT demonstriert.

Geringste Steuerspannung

Für die Bewegung des Atoms, also für das Ein- und Ausschalten des Einzelatom-Schalters, ist eine Steuerspannung verantwortlich – und diese ist beim Einzelatom-Schalter 100-mal niedriger als die Steuerspannung, die die heutige Silizium-Halbleitertechnologie in Computern benötigt. Und sie konnte von Schimmel und seinem Team noch einmal deutlich reduziert werden, von etwa 30 Millivolt beim ersten Einzelatom-Schalter-Prototyp auf nur noch 3 bis 6 Millivolt bei der neuesten Version.

Die Spannung und der Energieverbrauch verhalten sich nicht proportional zueinander, sondern exponentiell. Das bedeutet, dass bei einer Verringerung der Spannung um den Faktor 10 der Energieverbrauch um den Faktor 100 sinkt. Bereits ist der Energieverbrauch des Einzelatom-Schalters 10 000-mal geringer als jener der heutigen Silizium-Halbleitertechnologie.

Zinn statt Silber

Erreicht haben die Forschenden diese Energiereduktion, indem sie die Elektroden aus Zinn statt aus Silber anfertigten. «Wir haben mit Silber angefangen, weil der Einzelatom-Transistor damit am einfachsten zu realisieren war», so Schimmel. Danach haben er und sein Team aber weitere Metalle auf ihre physikalischen und elektrochemischen Eigenschaften und insbesondere auf ihre Eignung für die Einzelatom-Technologie untersucht. «Der Einzelatom-Transistor aus Zinn ist wirklich ein Meilenstein in unserer Forschung», so Schimmel.

Neben der anwendungsbezogenen Entwicklung eines neuartigen, sparsamen Transistors geht es den Forschenden auch um grundlegende physikalische Fragestellungen. So haben sie beispielsweise festgestellt, dass die Leitfähigkeit eines einzelnen Atoms keine feste Grösse ist, sondern von seiner Umgebung und Anordnung im Kollektiv mit anderen Atomen abhängt. «Dieses grundlegende Verständnis ist wichtig, da es der Technologie erst den Weg in die Anwendung bahnt», so Schimmel. «Denn nur was man versteht, kann man kontrollieren.»

In der Tat ist der Schritt vom Prototyp im Labor zur Massenanfertigung eine grosse Herausforderung. Geklärt werden muss insbesondere die Frage, wie sich Einzelatom-Transistoren im grossen Stil miteinander verschalten lassen für die logischen Operationen, die ein Computerchip durchführen muss. Diese Frage wollen Schimmel und sein Team nun beantworten.

Leistung steigern

Eines Tages könnte der Einzelatom-Transistor unsere digitale Welt in zweifacher Hinsicht revolutionieren, ist Schimmel überzeugt. Denn auch in punkto Leistungssteigerung kommt die Silizium-Halbleitertechnologie an ihre Grenzen. Will sie die Rechenleistung weiter erhöhen, wird die Abführung der Abwärme schwierig. Die Kühlung der Halbleiter-Chips in einem Rechner wird zum entscheidenden Problem.

Mit dem Einzelatom-Transistor hingegen liesse sich der um den Faktor 10 000 eingesparte Energieverbrauch für die Leistungssteigerung nutzen, erklärt Schimmel: «Man könnte den Energieverbrauch nur um den Faktor 100 senken, dann hätte man noch eine Energiereserve, um die gesamte Rechnerleistung auf der Welt um den Faktor 100 zu steigern.»

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
12 Mio. Schweizer Franken

Projektleitung

Prof. Dr. Jürg Leuthold, Direktor des Instituts für elektromagnetische Felder, ETH Zürich, Schweiz

Projektdauer
2017–2025

Das Rote Kreuz in digital

Update zum «Zentrum für Digitales Vertrauen» an der ETH Zürich

Die digitale Infrastruktur humanitärer Einrichtungen soll besser vor Hackerangriffen geschützt werden. Die Forschenden des «Zentrums für Digitales Vertrauen» arbeiten an digitalen Schutz-Emblemen, die Malware stoppen sollen.

Im September 2020 traf es die Uniklinik Düsseldorf: Durch einen Hackerangriff auf die Server wurde die Klinik für eine Woche lahmgelegt. Die Erpresser lenkten ein, als ihnen klar wurde, dass sie nicht wie geplant die Universität getroffen hatten. Für eine Patientin, die wegen des Angriffs verlegt werden musste, kam der Rückzug zu spät – sie starb.

Was war hier geschehen? Co-Leiter Professor Peter Müller des Zentrums für Digitales Vertrauen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH Zürich) erklärt, wie solche Angriffe zustande kommen: «Die

Malware ist so programmiert, dass sie Rechner, die zu wenig geschützt sind, selbstständig befällt. Das können die Cyberkriminellen oft gar nicht genau steuern.» Was ein Nachteil für deren «Geschäftsmodell» ist. Sie wollen die gehackten Firmen nämlich ohne grosses Aufsehen erpressen. Ein Fall wie der Hackerangriff auf eine Uniklinik erhöht das Risiko, verfolgt und gefasst zu werden.

Der digitale Raum ziviler Einrichtungen oder humanitärer Institutionen wie Elektrizitätswerke oder Krankenhäuser kann bisher nicht als geschützt gekennzeichnet werden. Es gibt kein digitales Rotes Kreuz, das einer Malware signalisieren würde, dass die anvisierte Infrastruktur unter dem Schutz des Humanitären Völkerrechts steht. Mit dem Wunsch nach einem solchen digitalen Schutz-Emblem ist das Internationale Komitee vom Roten Kreuz Ende 2020 an das «Zentrum für Digitales Vertrauen» herangetreten. «So wie man im Krieg militärischen Parteien signalisiert, was geschützt ist, müssen auch die digitalen Bereiche humanitärer Einrichtungen für kriminelle Gruppen erkennbar werden», erklärt Co-Leiter Professor David Basin.

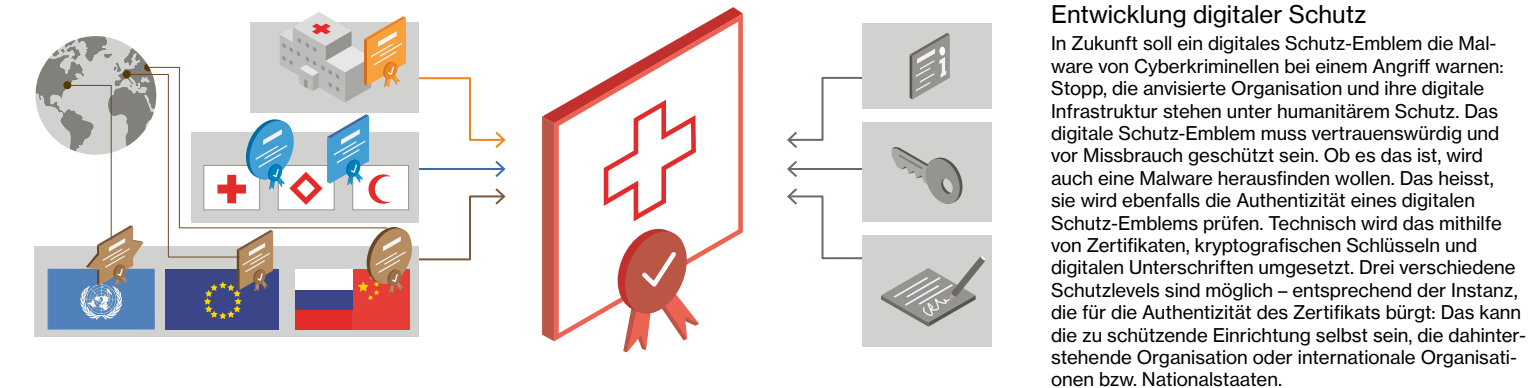
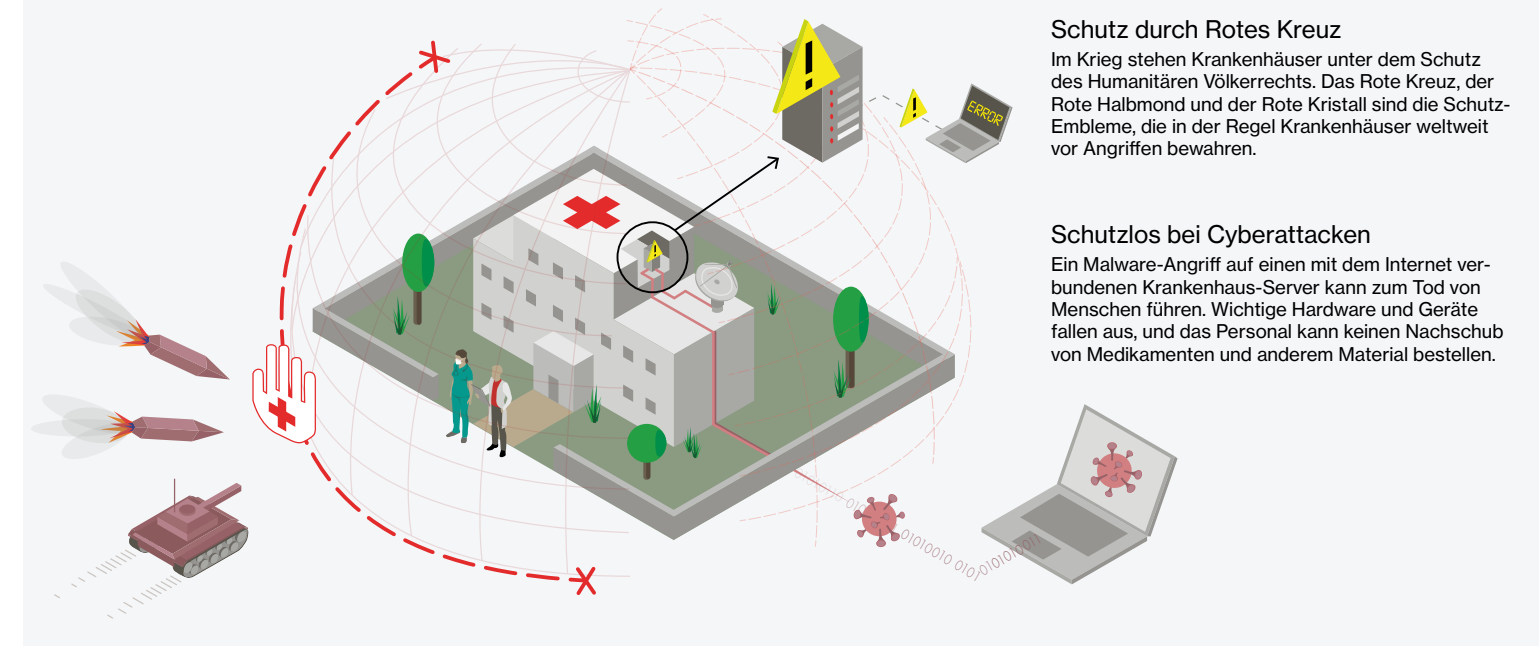
Zusammen mit seiner Forschungsgruppe hat er ein Konzept entwickelt, wie ein solches digitales Schutz-Emblem funktionieren könnte (siehe Grafik). Damit es von Angreifern aller Art (seien es ganze Nationen oder kriminelle Organisationen) akzeptiert würde, müsste es vor allem vertrauenswürdig und unabhängig sein. Doch was genau fördert oder mindert das «Vertrauen» von Cyberkriminellen? Dieser Frage, die das menschliche Verhalten in die IT-Sicherheit miteinbezieht, geht Forschungspartner Professor Matthew Smith an der Universität Bonn nach.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
9,83 Mio. Schweizer Franken

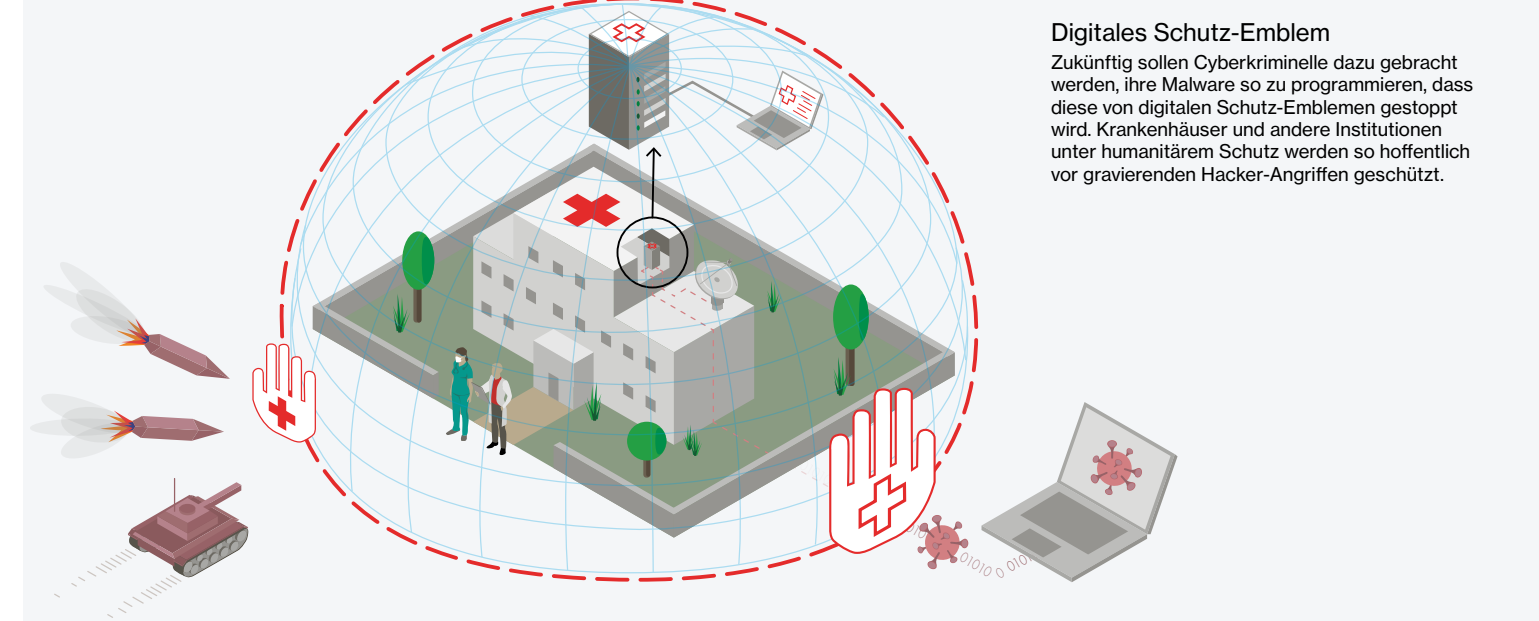
Projektleitung
Prof. Dr. David Basin, Prof. Dr. Peter Müller, Prof. Dr. Adrian Perrig, Department of Computer Science, ETH Zürich, Schweiz
Prof. Dr. Matthew Smith, Institute of Computer Science, Universität Bonn, Deutschland

Projektdauer
2019–2027

Status quo



Zukünftig





Die Werner Siemens-Stiftungsprofessorin Bergita Ganse koordiniert neu das breit aufgestellte Projekt «Smarte Implantate».

Profi für alle Fälle

Update «Smarte Implantate» am Universitätsklinikum des Saarlandes

Ein Team aus den Bereichen Medizin, Ingenieurwesen und Informatik entwickelt intelligente Implantate, die zum komplikationsfreien Heilen komplizierter Knochenbrüche beitragen sollen. Das breit aufgestellte Projekt «Smarte Implantate» wird neu von der Werner Siemens-Stiftungsprofessorin Bergita Ganse koordiniert; sie will die unterschiedlichen Fachwelten vereinen – und bringt Wissen aus dem All mit.

In der Erdumlaufbahn geht bekanntlich alles federleicht. Astronautinnen und Astronauten brauchen sich bloss mit dem Finger abzustossen, und schon gleiten sie zum anderen Ende der Raumstation. So himmlisch sich Schwerelosigkeit zunächst vielleicht anfühlen mag, auf die Dauer wird sie zum Problem. «Damit sich Muskeln und Knochen nicht abbauen, müssen wir sie belasten», sagt Bergita Ganse. Die Unfallchirurgin untersuchte viele Jahre lang, wie das am besten gelingt. Ihre Forschung half der europäischen Weltraumorganisation ESA und der US-amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA, die Trainingsmethoden für die Astronautinnen und Astronauten weiterzuentwickeln: zum Beispiel mit speziellen Krafttrainingsgeräten, Laufbändern oder Fahrradergometern.

Sportliche Ziele
Nun hat Bergita Ganse beim Forschen wieder vermehrt Boden unter den Füßen. Seit März 2021 ist sie Werner Siemens-Stiftungsprofessorin an der Universität des Saarlandes in Homburg. Als neue Koordinatorin eines Teams aus Medizin, Ingenieurwesen und Informatik möchte sie mithelfen, die Heilung von Knochenbrüchen mithilfe

von intelligenten Implantaten zu revolutionieren. Zukünftige Platten, so die Idee, stabilisieren Knochen nicht nur, sondern erkennen selbstständig Fehlbelastungen und korrigieren sie, oder sie stimulieren die Knochenheilung aktiv. Bis 2025 soll ein erster Prototyp eines solchen smarten Implantats vorliegen. Für Ganse ist das ein ambitioniertes, aber erreichbares Ziel. An sportlichem Ehrgeiz fehlt es ihr auf jeden Fall nicht: Die Hobby-Leichtathletin brachte es im Werfer-Fünfkampf bis zu den Senioren-Europameisterschaften.

Innovation dank Austausch
Fachlich versteht sich Ganse als optimales Bindeglied zwischen den Disziplinen. Zuletzt arbeitete sie mit einem Forschungsstipendium in der Abteilung «Musculoskeletal Science and Sports Medicine» an der Manchester Metropolitan University in England. Zuvor forschte sie in Aachen unter anderem zu Implantaten und habilitierte in experimenteller Unfallchirurgie. Auch den Alltag in der Klinik kennt sie bestens. Ihre Weiterbildung zur Fachärztin für Orthopädie und Unfallchirurgie sowie Fachärztin für Physiologie hat sie an der Charité Berlin, beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Köln und an den Universitätskliniken in Köln und Aachen absolviert. Während ihrer Zeit beim DLR und in Manchester lebte sie zudem quasi «unter Ingenieuren», wie sie erzählt, und auch die Fragestellungen der Informatik sind ihr aus verschiedenen Forschungsprojekten nicht fremd. «Mein Ziel ist es, die unterschiedlichen Welten zu vereinen», sagt Ganse. «Denn Innovationen entstehen oft erst dann, wenn sich Fachleute aus verschiedenen Disziplinen die Bälle zuspielen.»

Material, das sich bewegt
Einen ersten Durchbruch erzielte im Jahr 2021 das Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA). Es gelang den Ingenieurinnen und Ingenieuren, einen «Demonstrator» zu bauen, der über eine sogenannte Aktorkomponente verfügt. Dabei handelt es sich um ein Implantat aus Metall und Kunststoff, das sich zusammenziehen und verlängern kann. Möglich machen das Materialien mit einem Formgedächtnis: Die Drähte aus Nitinol verkürzen sich, wenn sie mit elektrischem Strom erwärmt werden,

und «entspannen» sich ohne Strom. So kann ein gebrochener Knochen mechanisch stimuliert werden. Für den Bau des Prototyps reichten die Forscher erste Patente ein.

Der Prototyp verfügt nun über aktorische, jedoch noch nicht über ausreichend sensorische oder gar intelligente Eigenschaften. Das spätere Implantat wird die einwirkenden Kräfte auch zielgenau messen und verarbeiten müssen. Das schafft der Prototyp derzeit noch nicht. Eine weitere Herausforderung ist die Energieversorgung. Als Energiequelle eignen sich sowohl implantierbare, komplett autark agierende Lösungen als auch induktive Lademöglichkeiten. Auch die Verträglichkeit des Implantats im Körper muss gewährleistet sein. Durch den Einsatz bekannter implantierbarer Materialien und Verkapselungen ist das eine grundsätzlich lösbare Aufgabe, ist Ganse überzeugt.

Wieviel Belastung ist ideal?
Die Technologie ist bereits recht ausgefeilt. Doch ohne medizinische Forschung sind selbst die intelligentesten Implantate nicht praxistauglich. Damit die smarten Implantate die Knochenheilung dereinst wirklich verbessern können, müssen erst die beiden zentralen Fragen beantwortet werden: Welche Kräfte und Belastungen treten im Knochen beim Gehen und im Alltag auf? Welche Belastungen sind bei menschlichen Knochenbrüchen ideal? Die medizinischen Fachkräfte im Projekt rund um Projektleiter Professor Tim Pohlemann erarbeiten das Grundlagenwissen derzeit mittels Sensoren in Schuhsohlen. Auch bei dieser Suche nach der idealen Belastung kennt sich die neue Werner Siemens-Stiftungsprofessorin Bergita Ganse aus: «Die Fragestellungen sind im Prinzip ähnlich wie in der Forschung zur Raumfahrt.»

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
8 Mio. Euro

Projektleitung
Prof. Dr. Tim Pohlemann, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Saarland, Homburg, Deutschland

Projektdauer
2019–2025



Lebende Zellen beobachten

Update zum Werner Siemens Imaging Center in Tübingen – bildgebende Verfahren

Noch immer gibt es Krankheiten, die sich schlecht erkennen und behandeln lassen. Um das zu ändern, entwickeln die Forschenden des Werner Siemens Imaging Centers in Tübingen neue bildgebende Verfahren, mit denen sich Gewebe und Moleküle genauer untersuchen lassen. Grosse Fortschritte erzielten sie jüngst in der Krebstherapie und bei der Früherkennung von Parkinson.

Blick in lebende Organismen: Die Zellbiologin Bettina Weigelin kann Tumore dank dem neuen Intravitalmikroskop am Werner Siemens Imaging Center nun genau charakterisieren.



Bettina Weigelin ergänzt das Team des Werner Siemens Imaging Center in Tübingen bestens: Die Zellbiologin hat sich auf die Charakterisierung von Tumoren und die Wirkung von Immuntherapien spezialisiert.

Krebserkrankungen sind in unseren Breitengraden für die meisten vorzeitigen Todesfälle verantwortlich. So ist Krebs in Deutschland und in der Schweiz bei Männern ab 45 Jahren und bei Frauen ab 25 Jahren die häufigste Todesursache. «Zwar lassen sich viele Krebsarten zunächst gut behandeln, aber sie kommen häufig nach einigen Jahren wieder zurück», sagt Bettina Weigelin, Gruppenleiterin am Werner Siemens Imaging Center (WSIC) in Tübingen. Sie sucht mit ihrem Team nach Verfahren, um Tumore besser charakterisieren und mit dem neuen Wissen die Krebstherapien verbessern zu können.

Dabei hilft den Tübinger Forschenden ihr neues Intravitalmikroskop – so werden Mikroskope bezeichnet, mit denen sich lebende Gewebe und sogar ganze Organismen untersuchen lassen. Das Intravitalmikroskop befindet sich im Experimentierbereich, den man nur in Einweg-Overalls betreten darf. Die Anlage, die dort seit Anfang 2021 aufgebaut ist, füllt einen ganzen Raum. Sie umfasst zusätzlich zum Mikroskop noch drei Hochenergie-Infrarotlaser. «Damit können wir nicht nur die

Oberfläche einer Probe betrachten, sondern auch in sie hineinschauen», erklärt Weigelin. Die Forschenden markieren zuvor die Zellen, die sie verfolgen wollen, etwa Tumor- und Immunzellen, mit fluoreszierenden Proteinen. Diese werden unter dem Mikroskop von den Lasern angeregt, sodass sie sichtbar werden – bis in eine Gewebetiefe von zwei Millimetern hinein. «Diese Tiefe erreichen nur eine Handvoll Intravitalmikroskope auf der Welt», so Weigelin.

In der Mäuselunge Weigelin und ihr Team untersuchen hauptsächlich den Einfluss der Immuntherapie auf Tumore, und zwar an Mäusen. Dazu werden die Tiere schonend betäubt und unter das Mikroskop gelegt. Bisher konzentrierten sich die Forschenden auf Hautkrebs, doch mit dem neuen Gerät können sie auch Tumore analysieren, die tiefer im Körper liegen. So bereiten sie zurzeit die ersten Brustkrebsversuche vor. Zudem haben sie angefangen, Metastasen zu untersuchen. «Bei vielen Krebsarten sterben Patienten heute nicht mehr an den Primärtumoren,

sondern an Metastasen in Knochen oder inneren Organen», sagt Weigelin. Sie öffnet am Computer Bilder einer Mäuselunge, in deren Innerem mehrere runde Flecken leuchten: Metastasen. Die Aufnahmen stammen von einem weiteren Mikroskop, einem Lichtscheibenmikroskop, mit dem sich zwar keine lebenden Organismen, dafür aber ganze Organe in Schichten durchleuchten lassen. In der Vergrößerung wird sichtbar, wie die Immunzellen den Tumor bekämpfen. Am Rand der Geschwulst aber haben aktive, sich teilende Tumorzellen die Oberhand. «Häufig erkennen die Immunzellen zwar die Tumorzellen, schaffen es aber nicht, sie zu zerstören», sagt Weigelin. «Wir wollen herausfinden, warum das so ist, und darauf basierend neue Therapieformen entwickeln.»

Schläferzellen zerstören Ein weiteres Phänomen in Tumorzellen untersucht die Gruppe von WSIC-Leiter Professor Bernd Pichler: die sogenannte Seneszenz. In diesem Zustand leben Zellen zwar weiter, teilen sich aber nicht mehr. Einige Krebsmedikamente nutzen diesen Mechanismus, um das



Bettina Weigelin, neue Gruppenleiterin des Bereichs «Multiscale Immunoimaging» am Werner Siemens Imaging Center und Professorin für Preclinical Imaging of the Immune System an der Universität Tübingen, Deutschland

Wachstum von Tumoren zu stoppen. Aber: «Man kann nie alle Zellen eines Tumors in die Seneszenz treiben», sagt Pichler. Zudem sondern seneszente Zellen Botenstoffe ab, die die übrigen Krebszellen zum Wachstum anregen. «Dann fangen bereits gebremste Tumore plötzlich wieder an zu wachsen», erklärt Pichler. «Um das zu verhindern, muss man die seneszenten Zellen zur richtigen Zeit mit Medikamenten zerstören.» Bei der Bestimmung dieses Zeitpunkts hilft ein neues Verfahren des Teams: Die Forschenden haben einen Seneszenz-Tracer entwickelt. Er besteht aus einem Molekül, das seneszente Zellen radioaktiv markiert, sodass diese mittels Positronen-Emissions-Tomografie (PET) sichtbar werden. Bereits haben die WSIC-Forschenden ihre Methode präklinisch getestet. Nun läuft Phase I einer klinischen Studie – es ist die weltweit erste klinische Studie eines Seneszenz-Tracers überhaupt. Erste positive Ergebnisse kann die Methode schon verbuchen. In Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Tübingen hat Pichlers Team den Seneszenz-Tracer bei Menschen mit

Glioblastomen eingesetzt, bei denen keine andere Therapie wirkte; diese Tumore im Gehirn gehören zu den gefährlichsten überhaupt. Die Patientinnen und Patienten, die abgestimmt auf die Bildgebung mit dem Seneszenz-Tracer behandelt wurden, lebten länger. «Einem 50-jährigen Patienten konnten wir mehrere zusätzliche Monate mit guter Lebensqualität ermöglichen», sagt Pichler. Früherkennung von Parkinson Das WSIC forscht auch zur Früherkennung von neurodegenerativen Erkrankungen wie Parkinson. «Parkinson führt im Gehirn zur Ablagerung bestimmter Proteine, sogenannter Lewy bodies, und zwar schon lange bevor die ersten Symptome auftreten», sagt Gruppenleiterin Kristina Herfert. Sie hat mit ihrem Team nun den weltweit ersten Tracer entwickelt, der an diese Lewy bodies bindet und sie im PET-Scanner sichtbar macht. «Damit haben wir einen Messwert, der den Krankheitsverlauf aufzeigt», erklärt Herfert. So soll der neue Tracer künftig Ärztinnen und Ärzten überprüfen helfen, ob eine Therapie anschlägt – und vielleicht sogar die Früherkennung

von Parkinson möglich machen. Nach vielversprechenden Ergebnissen aus präklinischen Tests mit Mäusen und menschlichem Gehirngewebe soll der Tracer schon im nächsten Jahr in einer klinischen Studie an Patientinnen und Patienten getestet werden. Jüngst wurden die beiden WSIC-Gruppenleiterinnen Kristina Herfert und Bettina Weigelin auch zu Professorinnen der Universität Tübingen ernannt. Sie setzten sich gegen eine starke internationale Konkurrenz durch. «Das zeigt, wie stark unser Team ist, und wertet gleichzeitig das WSIC auf», sagt Pichler. «Das macht mich stolz.» Mittel der Werner Siemens-Stiftung 12,3 Mio. Euro (2007–2016) 15,6 Mio. Euro (2016–2023) Projektleitung Prof. Dr. Bernd Pichler, Werner Siemens-Stiftungsprofessor und Direktor des Werner Siemens Imaging Center (WSIC) in Tübingen, Deutschland Projektdauer 2007–2023

Zahnstein lesen

Update Paläobiotechnologie am Forschungsplatz Jena – prähistorische antibakterielle Naturstoffe gewinnen



Zahnsteinproben aus aller Welt erlauben es den Forschenden der Paläobiotechnologie, ihre Suche nach antibakteriellen Wirkstoffen aus der Frühzeit des Menschen voranzutreiben – und erstaunliche «Nebenerkenntnisse» zur Entwicklung des Gehirns von Hominiden zu gewinnen.

Uralte Wirkstoffe als neue Antibiotika zu nutzen, ist das Ziel des jungen Forschungsbereichs Paläobiotechnologie in Jena. Auf der Suche danach gewinnt die Archäologin Christina Warinner auch überraschende Erkenntnisse zur Menschheitsgeschichte.

Professorin Warinner, Ihr Forschungsteam am Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie arbeitet gemeinsam mit dem Team des Biotechnologen Dr. Pierre Stallforth in Jena am aussergewöhnlichen Projekt Paläobiotechnologie: Sie suchen im Zahnstein von Frühmenschen nach dem Erbgut von Stoffen, die gegen heutige resistente Bakterien wirken. Wie sind Sie vorangekommen?

Christina Warinner: Wir sind sehr zufrieden. Die erste Jahreshälfte von 2021 war zwar sehr geprägt von der Covid-19-Pandemie. So war es zum Beispiel nicht möglich, neue Zahnsteinproben aus der Mongolei nach Deutschland zu verschiffen. Doch haben wir unsere Pläne der Situation angepasst und uns mit voller Energie der Bioinformatik gewidmet – und konnten da grosse Fortschritte erzielen.

Welche Fortschritte?

Wenn wir in uraltem Zahnstein DNA-Abschnitte finden, ist es zentral, unterscheiden zu können, ob es sich um prähistorisches oder heutiges Erbgut handelt – etwa von Verunreinigungen an der Fundstelle. Dabei hilft uns die Bioinformatik, sie macht die Muster im Erbgut sichtbar. Die entsprechende Software mussten wir aber erst entwickeln. Das ist uns im vergangenen Jahr gelungen. Damit konnten wir inzwischen viele bereits vorhandene Zahnsteinfunde untersuchen.

Sind Sie bereits auf antibiotische Wirkstoffe gestossen?

Wir geben unsere Analysen zu den Funden laufend an das Team von Pierre Stallforth weiter. Diese Spezialis-

tinnen und Spezialisten für Naturstoffe suchen darin gezielt nach antibiotischen Wirkstoffen und haben bereits einige vielversprechende Kandidaten gefunden. Das ist das Schöne an unserem Projekt: Wir tun etwas Nützliches für die Gegenwart und lernen gleichzeitig mehr über die Vergangenheit.

Was meinen Sie damit?

Meine Gruppe erforscht anhand der archäologischen Funde auch die Evolution des oralen Mikrobioms, also der Gesamtheit der Mikroben im Mund. Da Reste von Mikroben im Zahnstein Jahrtausende lang erhalten bleiben, können sie uns Antworten auf offene Fragen zur Menschheitsgeschichte geben.

Welche neuen Erkenntnisse konnten Sie bisher gewinnen?

Wir haben Erstaunliches gefunden und konnten die Studien im vergangenen Jahr in renommierten wissenschaftlichen Zeitschriften publizieren. Wir verglichen zum Beispiel den Zahnstein von modernen Menschen mit jenem von Neandertalern und Primaten wie Schimpansen und Gorillas. Es zeigte sich, dass im oralen Mikrobiom schon seit rund 40 Millionen Jahren hauptsächlich zehn Bakteriengruppen zu finden sind. Es gibt also eine Art stabiles Kern-Mikrobiom. Wobei etwa die Hälfte dieser Bakterien kaum erforscht sind und nicht einmal einen Namen tragen.

Schimppanse und moderner Mensch haben ähnliche Mikroben im Mund?

Man findet in der Tat bei beiden dieselben zehn Hauptgruppen von Bakterien, allerdings in unterschiedlicher Ausprägung. Grosse Unterschiede gibt es vor allem bei einer bestimmten Untergruppe von Streptokokken. Diese Bakteriengattung ist bei Schimpansen kaum zu finden, bildet beim Menschen aber die wichtigste Gruppe, ebenso beim Neandertaler – bei diesen beiden besteht das Mikrobiom zu einem grossen Teil aus Streptokokken.

Was bedeutet das?

Diese Streptokokken-Art ist spezifisch an stärkehaltige Nahrungsmittel angepasst – also an Kohlenhydrate. Dass sie auch bei Neandertalern zahlreich zu finden ist, bedeutet, dass stärkehaltige Nahrungsmittel wie Wurzeln, Knollen und Samen in der

menschlichen Ernährung schon lange vor der Einführung des Ackerbaus und der Evolution zum modernen Menschen eine Rolle spielten.

Das ist eine neue Erkenntnis?

Allerdings, und sie hat gewichtige Auswirkungen. Ein grosses Gehirn benötigt viel Energie. Stärke ist die energiedichteste Nahrung. Vielleicht war also die Entwicklung grösserer Gehirne möglich, weil unsere Vorfahren begannen, mehr Stärke zu essen. Bisher ging man eher davon aus, dass unsere Vorfahren durch Jagen, also durch tierisches Eiweiss, zu mehr Energie und damit zu grösseren Gehirnen kamen.

Lässt sich noch mehr aus Zahnstein herauslesen?

Ja, ich bin überzeugt, dass Zahnstein uns noch mehr über die Gehirnentwicklung der Hominiden verraten wird. Und auf weitere ungeklärte Fragen wie: Wann hat sich der Mensch das Feuer zunutze gemacht? Stärke ist am besten verdaulich, wenn sie gekocht ist. Vielleicht tauchte auch das Kochen in der Menschheitsgeschichte viel früher auf, als wir bisher dachten. Wir wissen es noch nicht, aber unsere Funde regen an, darüber nachzudenken. – Das finde ich sehr inspirierend: Bereits der Weg zum Hauptziel des Projekts, neue antibiotische Wirkstoffe zu finden, ist reich an Erkenntnissen.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
10 Mio. Euro

Projektleitung

Dr. Pierre Stallforth, Abteilungsleiter Paläobiotechnologie am Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie – Hans-Knöll-Institut – in Jena, Deutschland

Akademische Partnerin

Prof. Dr. Christina Warinner, Gruppenleiterin Mikrobiom-Forschung am Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie, Leipzig, Deutschland, und ausserordentliche Professorin an der Harvard University bei Boston, USA

Projektdauer

2020–2029

Darmbakterien gegen Krebs

Update zum Förderprogramm MedTechEntrepreneur-Fellowships an der Universität Zürich

Die Molekularbiologin Ana Montalban-Arques hat ein MedTechEntrepreneur-Fellowship der Universität Zürich erhalten. Damit kann die Nachwuchsforscherin ihre neuartige Behandlung von Darmkrebs zur Marktreife bringen.

So klein und doch so wirkungsvoll! Die Mikroben, die zu Millionen unter anderem unseren Darm besiedeln – im Fachjargon Mikrobiom genannt – faszinieren Ana Montalban-Arques seit mehr als zehn Jahren. Erstmals beschäftigte sich die Molekularbiologin im Rahmen ihrer Masterarbeit damit. Seither hat ihr Interesse an den Mikroben im Darm nicht mehr nachgelassen. «Die Wissenschaft kann zunehmend zeigen, welche erstaunliche Wirkung diese Winzlinge auf uns haben», sagt die mittlerweile

promovierte Forscherin. «Die Mikroben helfen nicht nur, Nahrung zu verdauen, sondern stärken insbesondere auch unser Immunsystem.»

Von Spanien in die Schweiz
Nach dem Studium der Molekularbiologie in ihrem Heimatland Spanien und dem Doktorat in Österreich wurde Ana Montalban-Arques 2018 Postdoktorandin im Bereich Mikrobiom-Forschung an der Universität Zürich (UZH) und am Universitätsspital Zürich. Sie und ihr Team wiesen nach, dass bei Patientinnen und Patienten mit der häufigsten Form von Darmkrebs, dem kolorektalen Karzinom, das Darm-Mikrobiom anders als bei gesunden Menschen zusammengesetzt ist: Es mangelt den Erkrankten an Bakterien der Gattung Clostridiales. Erhalten Mäuse mit Darmkrebs solche Clostridiales-Bakterien verabreicht, vermag ihr Immunsystem den Tumor wirksam anzugreifen – ganz ohne Nebenwirkungen. Dieser Nachweis gelang den Forschenden nicht nur bei Darmkrebs – auch bei Hautkrebs, Brustkrebs und Lungenkrebs vermochten die Bakterien Immunzellen gegen den Tumor zu aktivieren.

Vielversprechender Bakterienmix

Das sind verheissungsvolle Resultate. Denn ein beträchtlicher Teil der an Darmkrebs Erkrankten spricht nicht auf die bisher verfügbaren Therapien an oder erleidet Rückfälle. Diese Ausgangslage motivierte Ana Montalban-Arques, den Weg zur Unternehmerin zu beschreiten und ihre Erkenntnisse in Form eines Arzneimittels zu den Patientinnen und Patienten zu bringen. Sie bewarb sich mit der Unterstützung ihres Professors Michael Scharl erfolgreich für ein MedTechEntrepreneur-Fellowship der UZH und kann sich nun bis März 2022 auf ihre zukünftige Rolle als Unternehmerin und CEO des Spin-offs «Recolony» vorbereiten.

«Es gibt viel zu lernen, denn die Welt des Unternehmertums ist neu für mich», sagt sie. Das von der Werner Siemens-Stiftung finanzierte MedTech-Entrepreneur-Fellowship unterstützt sie unter anderem mit Coaching, Netzwerkanlässen und der Vermittlung von unternehmerischem Wissen, etwa zu Patenten oder zu den Zulassungsbedingungen von Arzneimitteln.

Auf dem Weg zum marktfähigen Produkt geht es nun darum, die



Die Molekularbiologin Dr. Ana Montalban-Arques in ihrem Labor am Universitätsspital Zürich: Das MedTechEntrepreneur-Fellowship der Universität Zürich wird mithelfen, ihre vielversprechende schonende Behandlung von Darmkrebs zur Marktreife zu bringen.

Bakterienmischung in eine für Patientinnen und Patienten einfach einzunehmende Form zu bringen: gefriergetrocknet in Kapseln. Im besten Fall kann daraus die weltweit erste Krebstherapie werden, die Bakterien nicht einfach dazu nutzt, andere Immuntherapien wirksamer zu machen, sondern bei der das Mikrobiom selbst zur eigenständigen Immuntherapie wird. Der Clostridiales-Bakterienmix könnte helfen, Darmkrebs zu heilen, ein Wiederauftreten zu verhindern und bei Risikopersonen der Entstehung eines Tumors vorzubeugen.

Gegen verschiedene Krebsarten

Das MedTechEntrepreneur-Fellowship der UZH unterstützt das Projekt von Ana Montalban-Arques nicht nur fachlich, sondern auch mit einem Stipendium in der Höhe von 150 000 Schweizer Franken. Der Betrag wird für die Produktion der Bakterienmischung eingesetzt. Unterstützt wird das Vorhaben auch vom Schweizerischen Nationalfonds.

Wenn mit den klinischen Tests alles klappt, kann das Medikament im Jahr 2030 auf den Markt kommen. Der

Traum von Ana Montalban-Arques wird weitergehen: «Mein Ziel ist es, für verschiedene Krebsarten spezifische Bakterienmischungen als Immuntherapie zu entwickeln.»

Den Austausch stärken

Ana Montalban-Arques ist eine von 13 MedTechEntrepreneur-Fellows der UZH. Seit Beginn des Programms in 2018 haben sich 28 Nachwuchsforschende darum beworben. Bereits sind sechs Jungunternehmen daraus entstanden. «Die Covid-19-Pandemie hat den Firmengründungen nichts anhaben können», sagt Michael Schaepman, Rektor der UZH und ehemaliger Projektleiter des Fellowship-Programms. «Alle Fellows haben die damit verbundenen Herausforderungen gut gemeistert. Von dieser unvorhergesehenen Erfahrung werden sie auch in Zukunft profitieren.»

In der Pandemie hat sich gezeigt, wie wertvoll der Austausch und die gegenseitige Unterstützung der Fellows ist. Denn oft stehen sie vor denselben Herausforderungen, etwa beim Aufbau eines Teams oder der Finanzierung des Unternehmens. «Mit der wachsenden Zahl von laufenden und abgeschlosse-

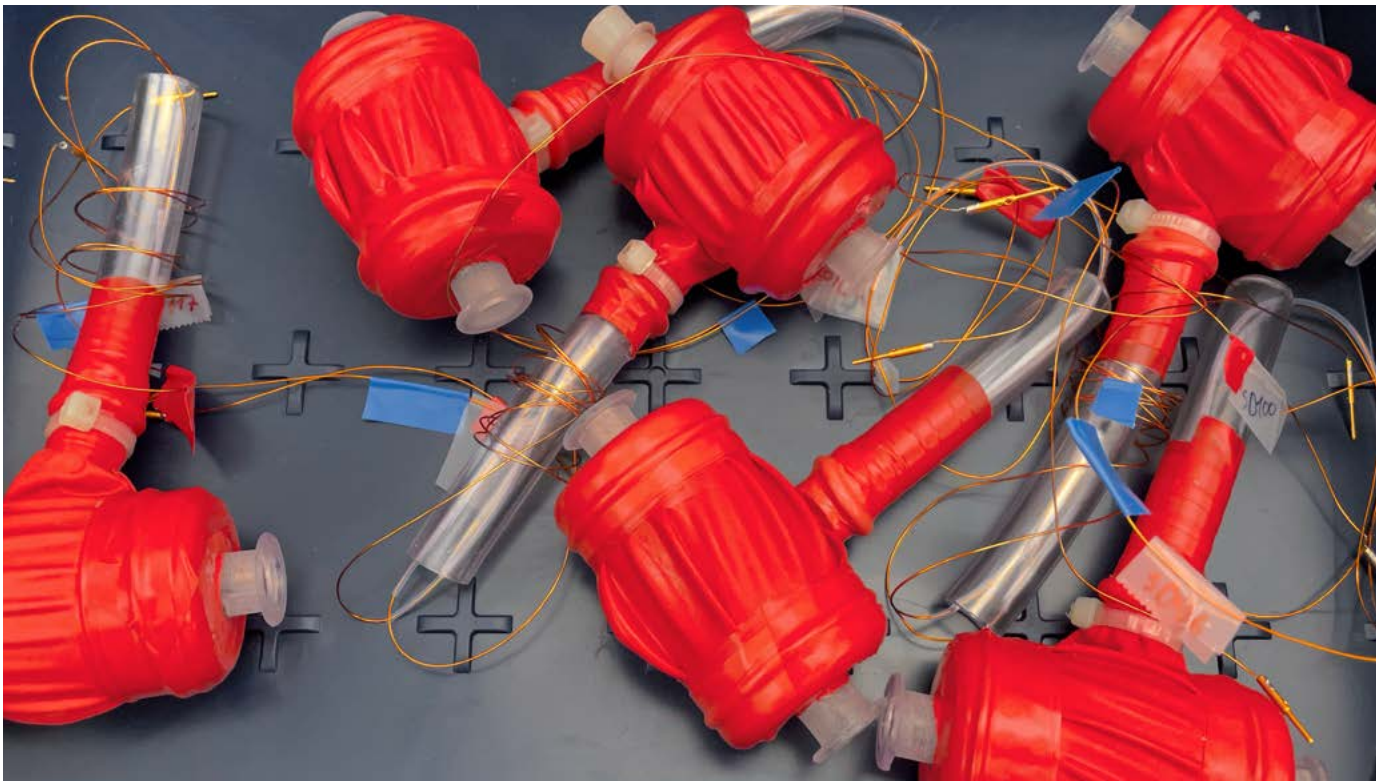
nen Projekten wird es immer wertvoller, die Vernetzung unter den Fellows zu fördern», so Schaepman. Die entsprechenden Möglichkeiten sollen weiter ausgebaut und auch der Austausch mit ehemaligen Fellows soll etabliert werden. Denn deren Erfahrungen sind Gold wert für zukünftige Unternehmerinnen und Unternehmer.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
10,67 Mio. Schweizer Franken
für 10 Jahre

Projektleitung

Prof. Dr. Elisabeth Stark, Prorektorin
Forschung, Universität Zürich (UZH),
Schweiz

Projektdauer
2018–2027



Mit 7000 Volt Power kann der künstliche Muskel in der Aorta mittlerweile ein schwaches Herz unterstützen.

Schlagender Erfolg

Update zum Zentrum für künstliche Muskeln in Neuenburg

Menschen mit einer Herzschwäche sollen künftig dank eines unterstützenden künstlichen Muskels in der Aorta zu neuer Power kommen. Die Forschenden des Zentrums für künstliche Muskeln nähern sich diesem Ziel mit Siebenmeilenstiefeln: Nach nur drei Jahren Entwicklungszeit konnten sie im Frühling 2021 einen ersten Prototyp ihres künstlichen Muskels erfolgreich an einem Schweineherzen testen.

In der Schweiz leiden etwa 200 000 Menschen an einer Herzschwäche, die meist mit Medikamenten behandelt wird. Dennoch kann sich die Pumpleistung mit der Zeit verschlechtern. Bei einer schweren Herzinsuffizienz wird den Patientinnen oder Patienten eine Herzpumpe eingesetzt, die dem erkrankten Organ bei seiner Arbeit hilft, bis ein Spenderherz verfügbar wird. Doch die lebensrettende Massnahme hat Nachteile: Die mechanischen Pumpen müssen invasiv ins Herz hinein operiert werden, wo sie die Herzwände belasten und rote Blutkörperchen zerstören können. Darum arbeiten die Forschenden des Zentrums für künstliche Muskeln (CAM) an der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) an einer schonenderen Lösung. Sie haben einen künstlichen Muskel entwickelt, der in die Aorta eingesetzt wird und das erkrankte Herz beim Pumpen unterstützen soll.

Weich und elastisch
Im Gegensatz zu einer Herzpumpe besitzt der künstliche Muskel keine starren Metallteile, sondern besteht aus weichem, elastischem Material. «So fügt er sich schonend ins Gewebe ein», sagt Yves Perriard, Mikroingenieur und Direktor des CAM. Der Muskel kann sich ausdehnen und zusammenziehen und so den Umfang der Aorta und damit den Druck in der linken Herzkammer

beeinflussen. Die linke Herzkammer ist nämlich dafür zuständig, das sauerstoffreiche Blut über die Aorta in den Blutkreislauf des Körpers zu pumpen. Wenn nun die Aorta zum richtigen Zeitpunkt durch den künstlichen Muskel geweitet wird – so die Idee –, entlastet dies die linke Herzkammer: Sie muss weniger arbeiten, um die gleiche Menge Blut zu pumpen.

Der künstliche Muskel besteht im Kern aus einer Membran aus Kunststoff, die von elektrisch leitenden Kohlenstoffschichten umgeben ist. Dadurch lässt sich die Membran mittels Elektrizität steuern: Steht sie unter Spannung, dehnt sie sich aus, wenn nicht, wird sie wieder enger. Die Membran ist im Prototyp mit einem stabilisierenden Kunststoffgerüst ummantelt und mit einer weiteren dünnen Schicht versehen, die sie gegen Körperflüssigkeiten abdichtet. Im Labor zeigte sich, dass dieses Prinzip funktioniert. Die Forschenden entwickelten und testeten den künstlichen Muskel mithilfe einer Anlage, die die beiden Herzkammern sowie den Blutfluss durch die Aorta simuliert. Wie vorgesehen, verringerte der künstliche Muskel den Druck in der simulierten linken Herzkammer.

Erfolgreiche erste Operation
Im April 2021 erfolgte bereits der Test in einem Versuchstier, einem Schwein. In einer aufwendigen Operation setzten Chirurgen in der Aorta einen Schnitt und fügten dort den künstlichen Muskel ein. Zudem war es nötig, eine ganze Reihe von Sensoren einzusetzen, die den Einfluss des Aorta-Muskels auf das Herz und den Blutfluss massen. «Für uns war dieser Versuch ein enorm wichtiger Meilenstein», sagt Yoan Civet, Geschäftsführer des CAM. «Hätte der Aorta-Ring im Tierversuch nicht funktioniert, hätten wir komplett umdenken müssen.»
Doch der Test war erfolgreich – und wie. Der Druck in der linken Herzkammer des Versuchstiers verringerte sich, und die Bewegung des Aorta-Rings half dem Schweineherzen beim Pumpen. Die Herzmuskeln mussten weniger Energie aufwenden, und der Blutfluss durch die Aorta erhöhte sich. Zudem konnten die Forschenden durch diesen Test im Detail ermitteln, wie sie die Bewegungen des künstlichen Muskels in der Aorta auf den Herzschlag abstimmen müssen, um das Herz bestmöglich zu unterstützen.

Spannung im Taschenformat
Bis jetzt kann der künstliche Muskel der linken Herzkammer einen Leistungsschub von etwa zehn Prozent verleihen. Nötig wäre etwa das Doppelte, um das menschliche Herz nachhaltig zu entlasten. «Wie wir die benötigte elektrische Spannung von rund 10 000 Volt in den Körper zum künstlichen Muskel bringen, daran arbeiten wir intensiv», sagt Perriard. Zurzeit übertragen noch Kabel diese Energie, künftig soll dies kabellos und mit einer portablen Spannungsquelle geschehen. Doch: «Diese hohe Spannung in einem kleinen Gerät zu erzeugen, ist technisch eine grosse Herausforderung», sagt Perriard. Das Team muss die nötige Leistungselektronik Schritt für Schritt miniaturisieren – zunächst auf die Grösse eines Kästchens von etwa 20x10x10 Zentimetern, danach auf die Masse eines noch kleineren Geräts, das man am Körper tragen kann. Auch beim Design des Aorta-Muskels will das Team einen Schritt weitergehen. Es sucht nach einem Weg, wie es ihn um die Aorta herumlegen kann, ohne dass ein Schnitt durch die Aorta nötig wird und ohne dass der künstliche Muskel mit Blut in Berührung kommt.

Das Herz ist erst der Anfang
Künstliche Muskeln könnten künftig auch Menschen mit Blasenschwäche oder sogar mit Lähmungen im Gesicht zugutekommen. Um Blasenschwäche zu mindern, gedenken die Forschenden einen kleinen Ring zu entwickeln, der als zusätzlicher Schliessmuskel um die Harnröhre gelegt werden kann. Für die Anwendung in der Gesichtschirurgie forscht das Team zusammen mit dem Universitätsspital Zürich an flachen Membranen, die die Bewegungen gewisser Gesichtsmuskeln unterstützen oder gar ersetzen können.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
12 Mio. Schweizer Franken

Projektleitung
Prof. Dr. Yves Perriard, Direktor des Zentrums für künstliche Muskeln (CAM) und des Integrated Actuators Laboratory (LAI), École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Schweiz

Projektdauer
2018–2029

Wer wir sind

Herzblatt und Halbwilde

Sie gründeten und alimentierten die Werner Siemens-Stiftung:
Charlotte und Marie – Anna und Hertha – Nora

Seit ein paar Jahren wird die Geschichte der Werner Siemens-Stiftung aufgearbeitet und nach und nach in Buchform herausgegeben. 2020 erschien die Doppelbiografie der beiden Zustifterinnen Anna und Hertha Siemens. Obwohl ihr Leben ganz unterschiedlich verlief, blieben die beiden verbunden und beschlossen 1931 gemeinsam, ihr bedeutendes Vermögen grösstenteils der Werner Siemens-Stiftung zu vermachen.

Anna und Hertha sind Halbschwwestern, ihr Vater ist Firmengründer Werner Siemens. Trotzdem verläuft ihre Kindheit sehr verschieden. Die ältere Anna verliert mit sechs Jahren ihre Mutter Mathilde Drumann; und den geliebten Vater müssen Anna und ihre drei Geschwister oft wochenlang entbehren, da er die Firma Siemens & Halske aufbaut und immer wieder geschäftlich verreist. Die zwölf Jahre jüngere Hertha hingegen kommt als erstes Kind von Werner und seiner zweiten Frau Antonie Siemens zur Welt; da ist die Firma etabliert, und der 54-jährige Vater kann es sich leisten, oft zuhause bei der Familie zu sein und mit seiner Jüngsten buchstäblich in die Sterne zu gucken.

Unterschiede zuhau

Auch die Charaktere der beiden Halbschwwestern könnten unterschiedlicher nicht sein. Anna gilt von klein auf als eigenwillig, durchsetzungsstark und eher verschlossen. Hertha wird als versöhnlich, umgänglich und idealistisch beschrieben. Als Ehefrauen trennen sich ihre Wege auch geografisch. Anna heiratet 1887 den Papierfabrikanten Richard Zanders und lässt sich mit ihm in Bergisch Gladbach im Rheinland nieder. Hertha ehelicht 1899 den Chemieprofessor Carl Dietrich Harries und zieht mit ihm erst nach Kiel, dann nach Berlin. Doch es gibt auch Gemeinsamkeiten. Am wichtigsten ist wohl die tiefe Verbundenheit zum Vater und zur weitverzweigten Verwandtschaft – sowie der Umstand, dass beide keine Kinder haben.

Geliebter Vater

Werner Siemens und seine erste Frau Mathilde leben Familien- und Gemeinsinn aufs Vorbildlichste vor. Sie sind äusserst gastfreundlich und beherbergen auf dem Charlottenburger Anwesen mit Parkanlage teils wochenlang die Familien ihrer Geschwister und Freunde. So haben sowohl Anna als auch später Hertha von klein auf regen Kontakt mit ihren Tanten, Onkeln, Cousinsen und Cousins. «Die Kinderchen gedeihen so recht», schildert Werner 1861 seiner Schwägerin in London. «Namentlich Willi und Anna blühen wie die jungen Rosen (...). Die ganze Vetternschaft war fast den ganzen Tag zusammen und bildete eine recht muntere, flüchtige, kleine Truppe»¹.

Während Werners langen Geschäftsreisen kümmert sich Mutter Mathilde um Anna und ihre Geschwister. Regelmässig



Die älteste Tochter Anna von Firmengründer Werner Siemens (links, Aufnahme von 1882) und ihre zwölf Jahre jüngere Halbschwester Hertha überführten 1931 ihr bedeutendes Vermögen in die von ihren Cousinsen Charlotte und Marie 1923 gegründete Werner Siemens-Stiftung.

schickt sie ihrem Mann Briefe und Fotografien der «Herzblättchen, unsere(r) Schätze»² – die rege Korrespondenz innerhalb der Siemens-Familien war denn auch eine wichtige Quelle bei der Erstellung der Biografien von Anna und Hertha.

Früh verstorbene Mutter

Annas glückliche frühe Kindheit wird jedoch von lebensgefährlichen Krankheiten überschattet. Sie selbst erkrankt an Diphtherie und entkommt nur knapp dem Tod. Ihre Mutter stirbt 1865 an Tuberkulose – ein Verlust, der die damals 6-jährige Anna tief prägt. Mit Sorge beobachtet der Vater, wie sich seine älteste Tochter im Laufe der Jahre immer mehr verschliesst, und versucht gegenzusteuern: «Wenn du eingesehen hast, dass die Nächstenliebe die Urkraft ist welches die Menschheit veredelt und beglückt (...) so wird diese Ueberzeugung auch dein Herz weich, für Liebe empfänglich und dadurch auch Liebe erwirkend machen».³ Doch Anna geht ihren eigenen Weg, der nur teilweise dem damaligen Ideal einer sanften jungen Frau entspricht.

Werner Siemens' zweite Frau

1869 verliebt sich Werner Siemens in die junge Antonie Siemens (eine weit entfernte Verwandte) aus dem schwäbischen Hohenheim und heiratet sie. Er sähe es gerne, wenn Anna seine zweite Frau als Ersatzmutter ins Herz schliesse – was Anna aber trotz ihrer grossen Liebe zum Vater einfach nicht will. Doch Annas Jugendjahre sind nicht nur konfliktreich, sondern oft auch unbeschwert und abwechslungsreich. So wird sie als 11-Jährige zum Kinderball am Königs-

hof eingeladen. Und mit 15 übertragen ihr die Eltern die anspruchsvolle Aufgabe, während ihrer Abwesenheit den Ausbau der Charlottenburger Villa bei Berlin zu überwachen. Werner instruiert sie von Irland aus mit Briefen, in denen er sie auch über die dramatischen Schwierigkeiten informiert, die bei der Verlegung des Telegraphenkabels im Atlantik zwischen Irland und Amerika auftauchen.

Halbschwester Hertha

Werner Siemens' jüngste Tochter Hertha kommt 1870 zur Welt und erlebt eine weitaus harmonischere Kindheit. Sie lernt neben ihrem Geburtsort Berlin Charlottenburg auch das schwäbische Hohenheim, die Heimat ihrer Mutter, kennen. In den Sommerferien bei ihren Grosseltern auf Schloss Hohenheim begegnet sie Hochschuldirektoren, Agrarwissenschaftlern, Botanikern, Chemieprofessoren und dem späteren Nobelpreisträger Wilhelm Conrad Röntgen – sowie deren Kindern.

Forscher als Freunde

Da Werner Siemens in Charlottenburg ebenfalls einen Freundeskreis aus Wissenschaftlern pflegt, bekommt die heranwachsende Hertha so manches aus der Welt der Forschung mit. Sie interessiert sich für Physik, Mathematik und für das Malen. Doch Frauen sind damals nicht an der Universität oder Kunstakademie zugelassen. So braucht es die tatkräftige Unterstützung des Vaters, damit Hertha entsprechende Kurse belegen kann.

Mit Annas Hochzeit 1887 haben Herthas ältere Halbschwister alle das Elternhaus verlassen. Hertha bedauert das



Anna erlitt schwere Schicksalsschläge, doch mit ihrem späteren Eheglück wurde das Leben leichter: 1887 auf dem Tennisplatz mit ihrem Mann Richard Zanders (stehend) und Freunden.



Unbeschwerte Jugend: die weltoffene Hertha und ihr Bruder Carl Friedrich während ihrer Studienzeit in München (1895).

zwar und «sucht mit Erfolg etwas Jugendfrische ins Haus zu bringen»⁴, wie Werner es formuliert. Doch eigentlich genießen der alte Vater und die Teenager-Tochter das Zusammenleben sehr. Sie experimentieren gemeinsam im Privatlaboratorium der Charlottenburger Villa und betreiben astronomische Studien.

Mit den Eltern auf Reisen

1890 will Werner Siemens die Orte Kedabeg und Kalakent im Kaukasus besuchen, wo er und sein Bruder Carl ein Kupferbergwerk besitzen. «Papa hat ja immer die Idee, als könnte man ein junges Mädchen auf solche Reisen nicht mitnehmen. Ich warte in Geduld, was über mich verhängt wird»⁵, lässt Hertha Anna wissen. Die Geduld lohnt sich. Die abenteuerliche Reise der Kleinfamilie wird zu einem unvergesslichen Erlebnis. «Wenn's eine Seelenwanderung giebt, so bin ich gewiss einmal so etwas Halb oder Ganzwildes gewesen das zu Pferd durchs Leben gesaut ist; wenn es so recht toll hergeht dann fühle ich mich stets heimatlich wohl und berührt»⁶, schreibt Hertha aus Baku.

Vaters Tod

Mit keinem seiner Kinder teilt Werner Siemens so viele Erlebnisse wie mit seiner jüngsten Tochter Hertha. Die beiden verbindet eine ähnliche Wissbegier und der Drang, den Dingen auf den Grund zu gehen. Hertha wird von Vater und Mutter bis zu ihrer Heirat umsorgt, und sie nutzt diese privilegierte Situation, um die Freunde und Bekannten ihrer Eltern zu den ihrigen zu machen. Sie entwickelt eine selbstverständliche Weltläufigkeit, wie sie schon ihrem Vater zu eigen ist. Das alles hilft ihr, als Werner Siemens 1892 mit 76 Jahren stirbt, nach vorne zu schauen und sich trotz ihrer jungen 22 Jahre «als voller Mensch mit vernünftiger und achtbarer Meinung»⁷ zu fühlen.

Papierfabrikant und Chemieprofessor

Hertha und Anna heiraten beide aus Liebe und unterstützen ihre Ehegatten tatkräftig beim Aufbau der Karriere. Dank dem umfangreichen Beziehungsnetz und dem finanziellen Polster, das die beiden in die Ehe einbringen, kann so manche schwierige Situation gemeistert werden. Doch bleiben ihnen schwere Schicksalsschläge nicht erspart: Herthas Kind stirbt nur vierzehn Stunden nach der Geburt am 11. November 1900; Anna verliert ihren Gatten 1906 bei einem tragischen Schiessunfall. Dass weder Anna noch Hertha eigene Kinder haben, trägt wohl mit dazu bei, dass sie sich ein Leben lang philanthropisch engagieren.

Gemeinnütziges Engagement

So errichtet Hertha 1909 die Hertha-von-Siemens-Stiftung, die den Beamten und Angestellten der Siemens-Werke einen bezahlbaren Erholungsurlaub in Bad Harzburg ermöglicht. Sie kümmert sich auch um das Siemens'sche Kinderheim und lässt die Kindertagesstätte in Siemensstadt vergrößern. Ihren Kunstverstand nutzt sie, um Werke noch nicht arrivierter Künstlerinnen und Künstler zu kaufen, 1905 zum Beispiel «Herbststimmung» des Malers Vincent van Gogh, dessen Kunst damals stark umstritten ist.

Anna wiederum setzt sich für ein avantgardistisches Wohnbauprojekt ein, das sie 1897 mit ihrem Mann begonnen hat und nach seinem Tod weiterführt. Der «Gronauer Wald» ist als sozial durchmischte Einfamilienhaussiedlung am Waldrand konzipiert, in der sich von der Arbeiterfamilie

bis zur Direktorenfamilie alle niederlassen können. Ihr Siedlungsprojekt wird ein Erfolg, der «Gronauer Wald» wächst bis 1937 auf 520 Häuser an. Neben dem philanthropischen Engagement ist Anna auch der Zusammenhalt der eigenen umfangreichen Siemens-Familie wichtig. Sie errichtet mit 49 Verwandten eine Familienstiftung. Und sie setzt sich jahrelang hartnäckig dafür ein, das Haus in Goslar zu kaufen, das dem ersten verbürgten Siemens gehörte, und als Museum instand zu setzen.

Weltkrieg und Inflation

Der Erste Weltkrieg führt in Deutschland zu einer Hyperinflation, von der auch die Siemens-Nachkommen betroffen sind. Im Dezember 1918 übernimmt Hertha die delicate Aufgabe, ihrer Schwester Anna die schwierige wirtschaftliche Lage der Siemens-Werke und der Familienfinanzen vor Augen zu führen.

Die Erfahrung von Inflation und Währungsreform, aber auch die Enteignung und Vertreibung der Cousinen Charlotte und Marie aus dem kommunistischen Russland veranlassen Hertha und Anna, sich Gedanken über die Absicherung ihres Vermögens zu machen. Gemeinsam – beide sind mittlerweile Witwen – beschliessen sie 1926, ihre «Siemens & Halske»-Aktien an die Mira Treuhandgesellschaft AG in Schaffhausen in der Schweiz zu verkaufen. Den Kaufpreis lassen sie sich in Jahresraten auszahlen, das Restguthaben verzinst die Mira. So kommen Anna und Hertha zu einem verlässlichen Einkommen.

Bedeutende Zustifterinnen

Fünf Jahre später, 1931, überführen sie ihr Vermögen bei der Mira in Höhe von gut 1,4 Millionen Schweizer Franken in die von ihren Cousins Marie und Charlotte 1923 gegründete Werner-Stiftung, die zugleich die Pflichten der Mira übernimmt. Die beiden halten ausserdem testamentarisch fest, dass ihr weiteres Vermögen nach ihrem Tod ebenfalls der Werner-Stiftung zukommt, um es auf diese Weise langfristig für die Nachkommen von Werner und Carl von Siemens zu sichern. In dieser Zeit beschliessen die Geschwister auch die Umbenennung der Werner-Stiftung in Werner Siemens-Stiftung.⁸

Am 19. Dezember 1938 wird Anna 80 Jahre alt. Ihre jüngeren Geschwister Hertha, Käthe und Carl Friedrich überraschen sie mit einem Besuch. Es wird das letzte Treffen der ältesten und der jüngsten Tochter von Werner Siemens sein. Hertha stirbt im Januar und Anna im Juli 1939 – als hätten sie sich in ihrer Verbundenheit sogar auf das Todesjahr geeinigt.

¹ Béatrice Busjan und Yvonne Gross: Anna Siemens und Hertha Siemens. Herausgegeben von der Werner Siemens-Stiftung, Thomas Helms Verlag, Schwerin, 2020. Seite 14

² Busjan/Gross, 2020, S. 19

³ Busjan/Gross, 2020, S. 32

⁴ Busjan/Gross, 2020, S. 126

⁵ Busjan/Gross, 2020, S. 131

⁶ Busjan/Gross, 2020, S. 133

⁷ Busjan/Gross, 2020, S. 139

⁸ Busjan/Gross, 2020, S. 194

Gremien



Die Patchwork-Familie Siemens in ihrer Villa in Charlottenburg um 1875: Werner Siemens mit seiner zweiten Frau Antonie, die auf dem Schoss ihre beiden Kinder Hertha und Carl Friedrich haben. Links sitzend und rechts stehend Arnold, Käthe, Willy und Anna: Werner Siemens' Kinder aus erster Ehe mit seiner 1865 verstorbenen Frau Mathilde Drumann.

Beirat der Familie

Der Beirat der Familie besteht aus Nachfahren von Werner von Siemens und dessen Bruder Carl von Siemens. Er unterstützt den Stiftungsrat bei seiner Arbeit und verfügt über wichtige Vetorechte.

Oliver von Seidel
Vorsitzender
Düsseldorf, Deutschland

Dr. Christina Ezrahi
Mitglied
Tel Aviv, Israel

Alexander von Brandenstein
Mitglied
Hamburg, Deutschland

Stiftungsrat

Der Stiftungsrat führt die laufenden Geschäfte der Werner Siemens-Stiftung.

Dr. Hubert Keiber
Obmann
Luzern, Schweiz

Prof. Dr. Peter Athanas
Mitglied
Baden, Schweiz

Beat Voegeli
Mitglied
Rotkreuz, Schweiz

Wissenschaftlicher Beirat

Der Wissenschaftliche Beirat der Werner Siemens-Stiftung ist ein unabhängiges Gremium, welches den Stiftungsrat in der Projektfindung unterstützt. Die Wissenschaftlichen Beiräte sichten und evaluieren Projekte, die im Wirkungsfeld der Werner Siemens-Stiftung liegen.

Gianni Operto, Vorsitzender,
Ebmingen, Schweiz

Prof. Dr. Gerald Haug, Mitglied,
Max-Planck-Institut für Chemie
Mainz, Deutschland
und ETH Zürich, Schweiz

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Matthias Kleiner,
Mitglied, Präsident Leibniz-Gemein-
schaft Berlin, Deutschland

Prof. Dr. Bernd Pichler, Mitglied,
Universität Tübingen, Deutschland

Prof. Dr. Peter Seitz, Mitglied,
EPFL, Schweiz

Sechs Fragen an Gerd von Brandenstein

Gerd von Brandenstein engagierte sich die letzten 35 Jahre erfolgreich und weitsichtig im Stiftungsrat* der Werner Siemens-Stiftung. Nun tritt er altershalber zurück und übergibt den Vorsitz an Oliver von Seidel. Beide sind sie Nachkommen der Siemens-Gründer. Gerd von Brandensteins Urgrossmutter war Carl von Siemens' Tochter Marie von Graevenitz, die 1923 zusammen mit ihrer Schwester Charlotte die Werner Siemens-Stiftung gegründet hat.

Letzten Sommer hat Gerd von Brandenstein Besuch von seinem Nachfolger Oliver von Seidel bekommen. Ein Gespräch unter entfernten Verwandten und Freunden.

Oliver von Seidel: Welche Aufgaben im Stiftungsrat der Werner Siemens-Stiftung hast du besonders gerne ausgeübt?*

Gerd von Brandenstein: Die Zusammenarbeit mit dem Kuratorium (seit 2020: Stiftungsrat) und dem Wissenschaftlichen Beirat der Werner Siemens-Stiftung verlief meist harmonisch und hat mir besondere Freude gemacht. Intensiv ist mir die Zeit um 2003 in Erinnerung, als wir uns der Herausforderung annahmen, die Werner Siemens-Stiftung in eine gemischte Stiftung umzuwandeln, die neben dem Wohl der Familie auch die Philanthropie im Auge hat.

Und was hast du nicht so gerne übernommen?

Die Aufgabe, Aussenstehenden die Eigenarten und Besonderheiten des Stiftungswesens zu vermitteln.

Was waren für dich persönlich die Höhepunkte während der 35 Jahre im Stiftungsrat?*

Das eine sind die innovativen Projekte, die wir in all den Jahren fördern konnten. Deren Erfolge sind bis heute für alle spürbar und seit 2017 im jährlichen



Gerd von Brandenstein tritt nach 35 Jahren im Stiftungsrat* der Werner Siemens-Stiftung in den wohlverdienten Ruhestand.

«Report» der Werner Siemens-Stiftung nachlesbar. Das andere, was nachhaltig bleibt und worüber ich mich sehr freue, sind die tiefen, freundschaftlichen Beziehungen, die aus dieser Arbeit erwachsen. Ich hoffe und wünsche mir, dass wir diese schönen und persönlichen Beziehungen nun halt ohne mein Amt noch lange weiterpflegen können.

Was ist deiner Meinung nach in den kommenden Jahren die grösste Herausforderung für die Werner Siemens-Stiftung?

Während meiner Zeit im Stiftungsrat* und als dessen Vorsitzender wirkte ich an Entscheidungen mit, die zu erheblichen Veränderungen im Auftritt der Werner Siemens-Stiftung führten. Dabei die Perspektive der Familie einzunehmen, war in diesem Zusammenhang eine wichtige Aufgabe. Die Werterhaltung und der Stiftungszweck stehen zunehmend in einem Spannungsfeld von aussenstehenden Interessen und einer immer grösser werdenden Familie. Die Werner Siemens-Stiftung zu schützen und dabei die Familie sinnvoll zu binden und zu fördern, ist Aufgabe der nächsten Generation. Ich traue es ihr zu.

Was sind deine Wünsche für die Zukunft der Familie und der Werner Siemens-Stiftung?

Identität und Zusammenhalt sind meiner Ansicht nach wichtige Eckpfeiler einer gesunden Familienstruktur. Ich wünsche den Siemens-Nachkommen, dass sie neben der Identitätsstärkung und der Inspiration durch das Vergangene weitere Inhalte finden, die sie verbinden, und dass sie sich zunehmend selber zu fördern vermögen. Ich bin zuversichtlich, dass dies – zusätzlich unterstützt von der Stiftung – möglich sein wird.

Kennst du in Bezug auf die Werner Siemens-Stiftung eine Art familiären Leitgedanken, der von Generation zu Generation weitergegeben wurde?

Die Bedeutung eines Satzes, der sich mir im Laufe der Zeit eingebrannt hat, bringe ich oft mit der Lebenseinstellung des Firmengründers Werner und seines Bruders Carl von Siemens in Verbindung: «Plus est en vous.» Französisch ist nicht meine Muttersprache, aber ich weiss, dass dieser Ausruf nicht nur für ein vertrauensvolles «Ihr seid nun an der Reihe» steht –

er meint auch, dass die nächste Generation durchaus «plus», «mehr», aus der Zukunft machen kann. Die Siemens-Familie vermag das, da bin ich mir sicher.

* Der Stiftungsrat wurde 2020 in Beirat der Familie umbenannt.

Vergabeprozess

Auswahlkriterien

Die Werner Siemens-Stiftung fördert jährlich ein bis drei pionierhafte technische und naturwissenschaftliche Projekte in Forschung und Lehre an Hochschulen vornehmlich in Deutschland, Österreich und der Schweiz, die höchsten Ansprüchen genügen und zur Lösung relevanter Probleme unserer Zeit beitragen.

Pro Projekt wird in der Regel ein substanzieller Betrag von 5 bis 15 Millionen Euro bzw. Schweizer Franken bewilligt. Die Auswahl der unterstützten Projekte erfolgt in einem mehrstufigen Verfahren durch den Wissenschaftlichen Beirat, den Stiftungsrat und den Beirat der Familie der Werner Siemens-Stiftung.

Auch besondere Ausbildungsinitiativen und Nachwuchsförderung im MINT-Bereich werden von der Werner Siemens-Stiftung finanziell unterstützt.

Nicht unterstützt werden Aktivitäten aus Kunst, Kultur, Sport, Freizeit, Politik, Katastrophenhilfe, zeitlich nicht begrenzte Verpflichtungen, kommerziell ausgerichtete Projekte, Mitfinanzierung von Projekten anderer Stiftungen, Einzelstipendien, Studienkosten oder Doktorarbeiten.

Projektantrag

Ein Antrag auf finanzielle Unterstützung eines Projekts muss schriftlich an die Werner Siemens-Stiftung gestellt werden. Der Vergabeprozess sieht wie folgt aus:

- 1 Vorprüfung, ob das Projekt die Förderkriterien erfüllt
- 2 Prüfung des Antrags durch den Wissenschaftlichen Beirat
- 3 Empfehlung des Wissenschaftlichen Beirats an den Stiftungsrat und den Beirat der Familie
- 4 Beurteilung des Antrags durch den Stiftungsrat und den Beirat der Familie
- 5 Entscheid
- 6 Vertrag

Die Dauer des Vergabeprozesses beträgt etwa ein halbes Jahr.

Kontakt

Werner Siemens-Stiftung
Guthirthof 6
6300 Zug
Schweiz

0041 41 720 21 10

info@wernersiemens-stiftung.ch
www.wernersiemens-stiftung.ch

Impressum

Herausgeberin
Werner Siemens-Stiftung
Guthirthof 6
6300 Zug
Schweiz
www.wernersiemens-stiftung.ch

Konzeption
Brigitt Blöchlinger, Zürich
bigfish AG, Aarau

Gestaltung, Bildredaktion
bigfish AG, Aarau

Projektleitung, Textredaktion
Brigitt Blöchlinger, Zürich

Produktion
Christine Schnapp, Zürich

Korrektorat, Lektorat
Petra Jäger, Zürich

Texte, Reportagen
Santina Russo, Zürich
S. 25–42, 59–72, 86–87, 95–97, 102–103
Adrian Ritter, Baden
S. 46–56, 98–99, 100–101
Brigitt Blöchlinger, Zürich
S. 80–83, 106–110, 112–113
Andres Eberhard, Zürich
S. 76–79, 92–93
Sabine Witt, Zürich
S. 74–75, 90–91
Cornelia Eisenach, Thalwil
S. 84–85, 88–89

Fotografien
Felix Wey, Fotostudio, Baden:
S. 2, 4–6, 8–13, 29, 31, 32 (oben), 33–34, 36–37, 40, 55, 77, 79, 81–83, 87–88
Oliver Lang, Fotografie, Lenzburg:
S. 3, 7, 14–15, 60, 63–70, 92, 94, 96–97, 101
Empa, Dübendorf: S. 26, 30, 32 (unten)
Empa, Dübendorf, Mickael Perrin: S. 39
Kellenberger Kaminski Photographie/ETH-Rat: S. 46, 49, 52
Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung, MARUM, Bremen, Szymon Krupinski: S. 84
Katerina Guschanski: S. 98
Zentrum für künstliche Muskeln (CAM), Neuenburg: S. 102
Siemens Historical Institute, Berlin: S. 107–108, 110
Brüderli Longhini Fotografie, Zürich: S. 113

Illustrationen
bigfish AG, Aarau: S. 50–51, 74
Timo J. Walker, Maschwanden: S. 91

Druckerei
Kasimir Meyer AG, Wohlen

