



WSS

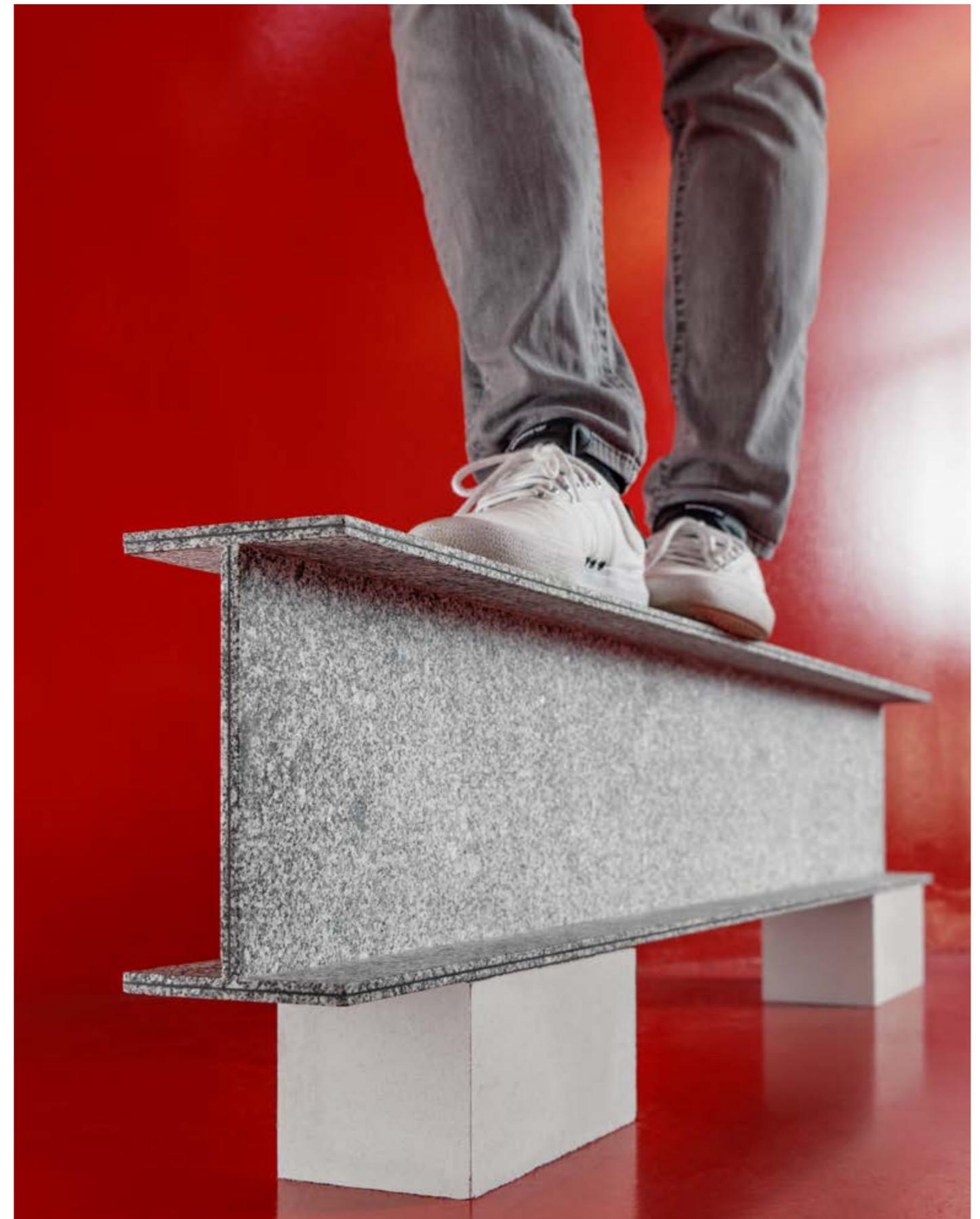
WERNER SIEMENS-STIFTUNG

Was wir fördern

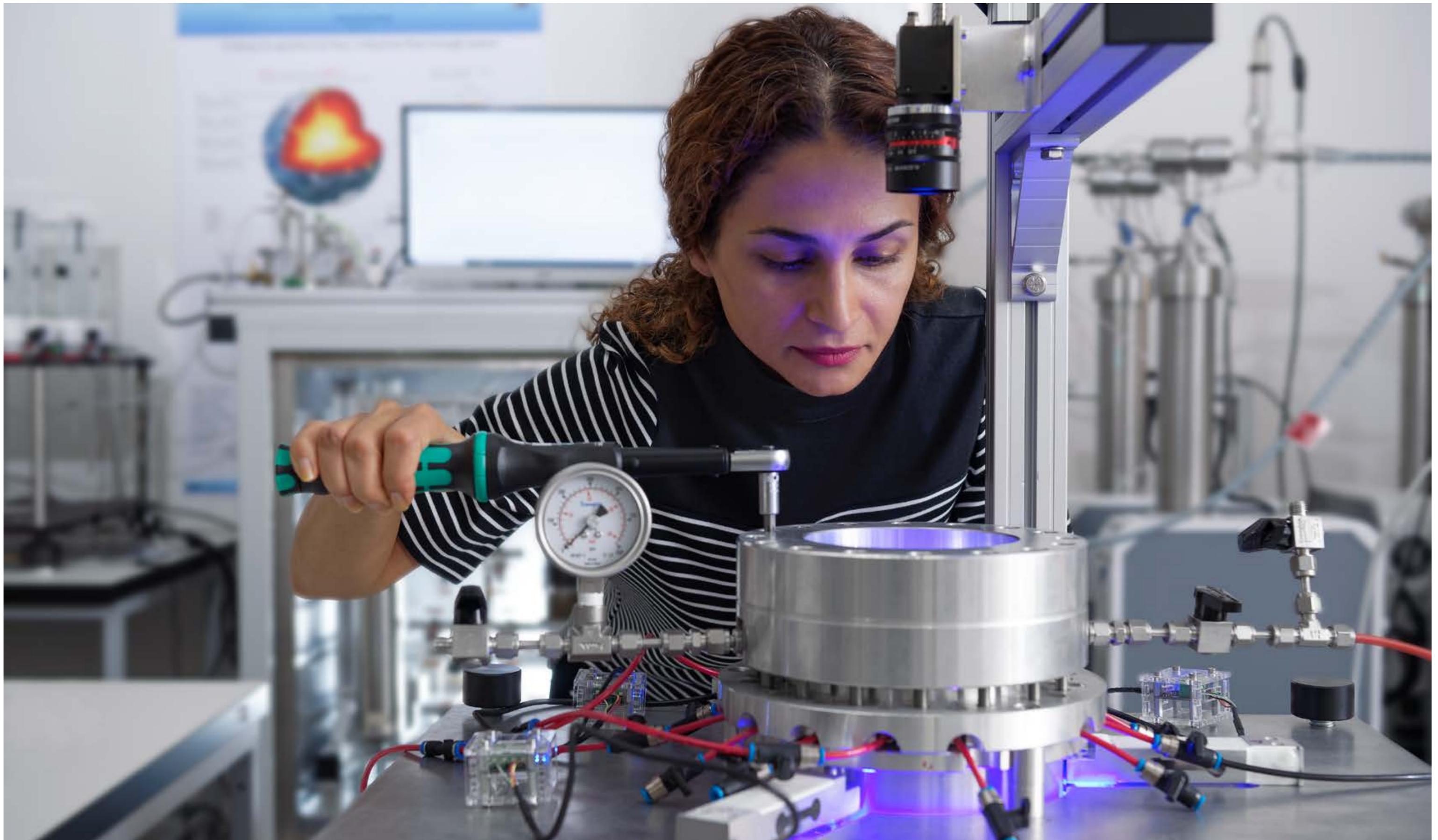
Report 2020



Smarte Implantate – damit auch komplizierte Knochenbrüche problemlos heilen

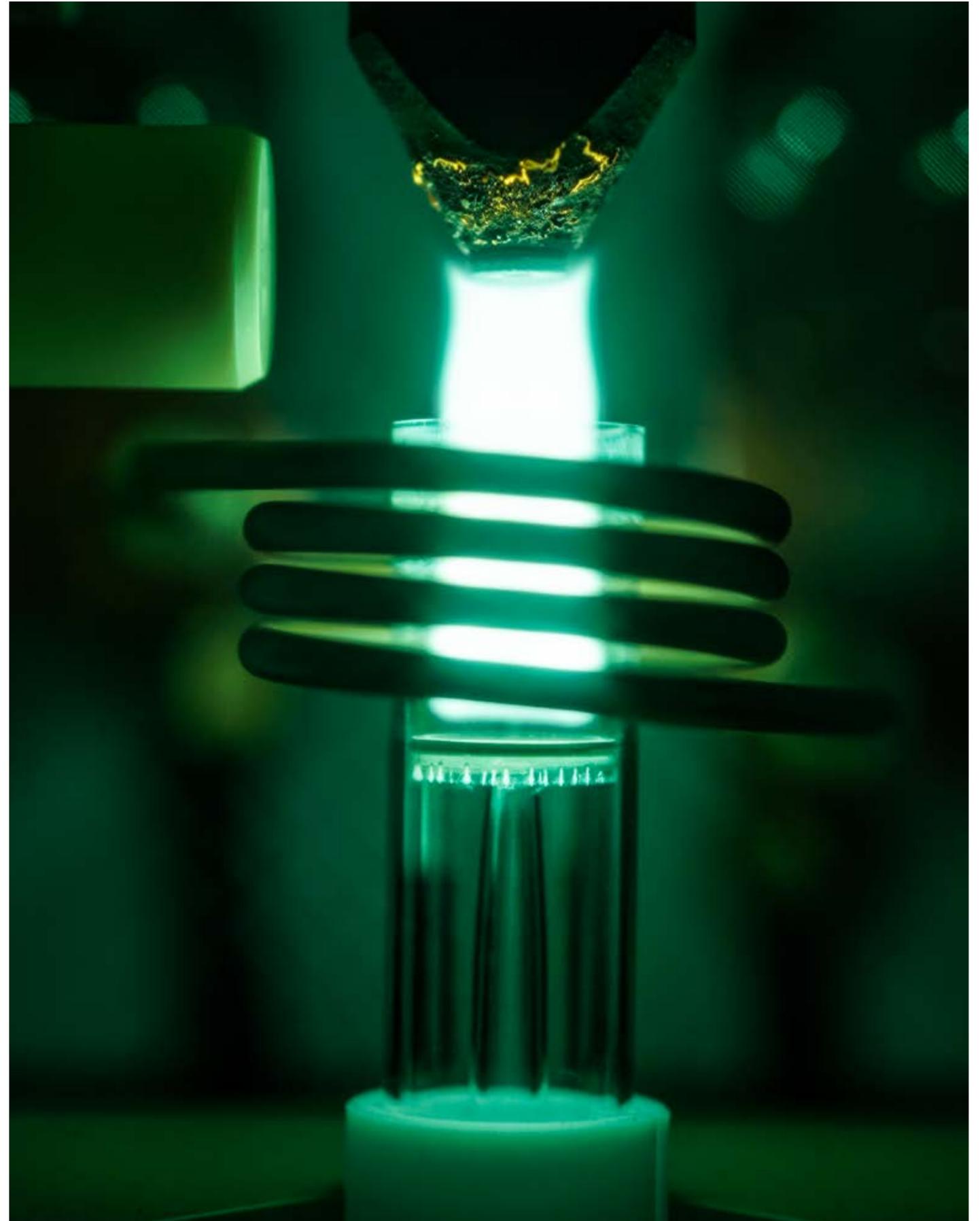


Synthetische Biotechnologie – natürliche Stoffe im Labor nachbilden





MIRACLE – Knochen minimalinvasiv mit Laser operieren



Thermoelektrik – Suche nach optimalen thermoelektrischen Materialien



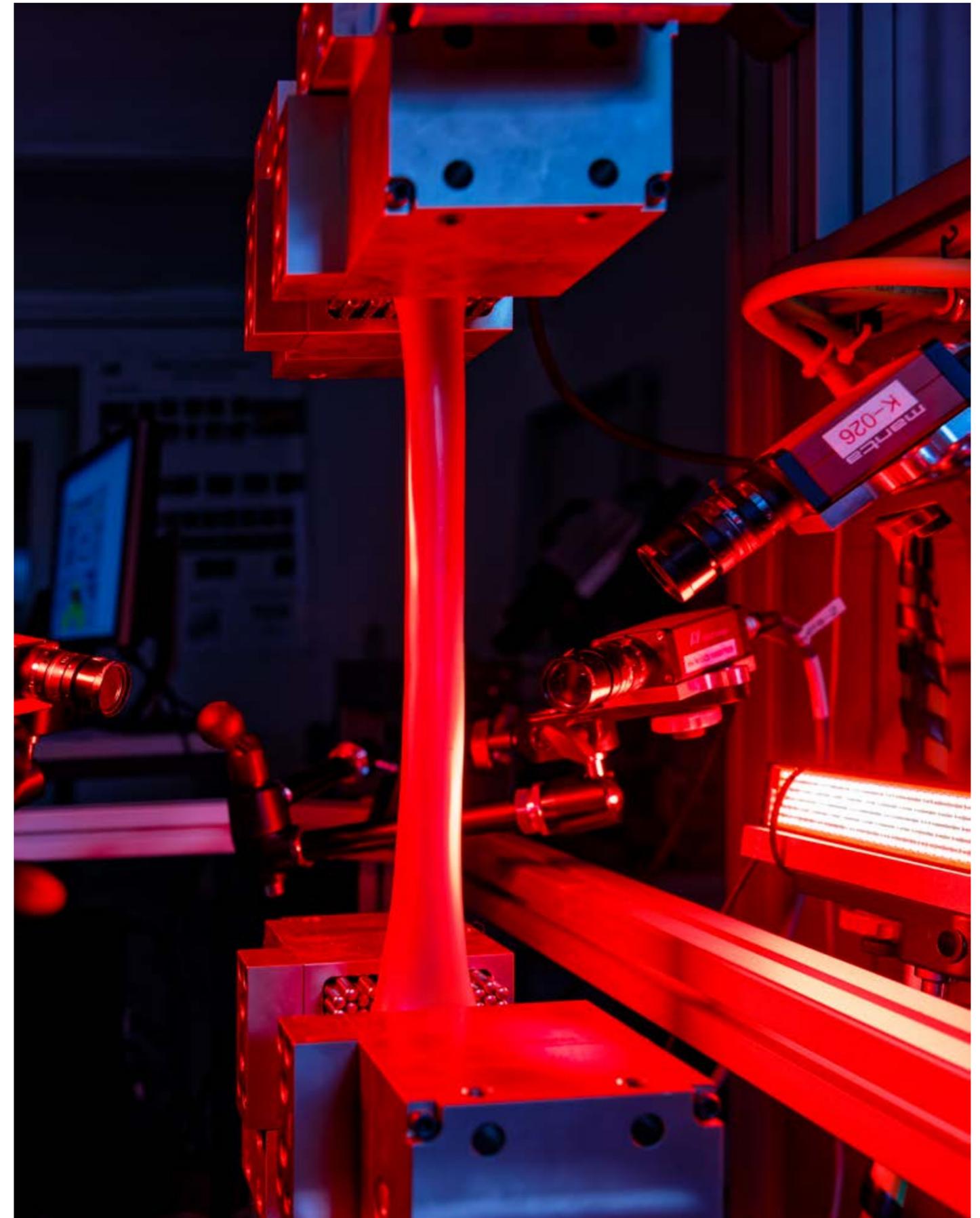
Bedretto-Untergrundlabor – Tiefengeothermie unter realitätsnahen Bedingungen erforschen



«Werner Siemens Imaging Center» – Bildgebung unterstützt die Wahl der besten Therapie



«Antivirotikum» – Breitbandmedikament gegen verschiedene Virenarten



Smarte Implantate – damit auch komplizierte Knochenbrüche problemlos heilen



Thermoelektrik – Suche nach optimalen thermoelektrischen Materialien

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 Covid-19-Pandemie hat auch uns von der Werner Siemens-Stiftung beschäftigt. Unsere Gremien konnten während des Lockdowns im Frühling 2020 zwar relativ gut vom Homeoffice aus operieren und erkrankt ist glücklicherweise auch niemand. Doch bei den Projekten persönlich vorbeizuschauen, war natürlich nicht möglich. Alles hatte online zu erfolgen. Nun, den Forschenden ging es ja gleich. So meldete sich die École polytechnique fédérale de Lausanne im März, als in der Schweiz alles geschlossen war, per Zoom. Sie fragte an, ob die Werner Siemens-Stiftung die Suche nach einem «Antibiotikum» gegen Viren unterstützen wolle. Professor Francesco Stellacci habe ein vielversprechendes antivirales Breitbandmedikament in Entwicklung, das Viren schädige und daran hindere, in Zellen einzudringen. Der neue Wirkstoff werde nach eingehender Prüfung in einer ersten klinischen Studie an zwanzig Patienten getestet.

Wir haben das Projekt unserem Wissenschaftlichen Beirat zur Prüfung vorgelegt, er stuft es als vielversprechend ein, gerade auch gegen Covid-19. So beschlossen wir schnell und unbürokratisch, die Forschung von Francesco Stellacci für ein Jahr zu unterstützen. Wie sein «Antivirotikum» genau funktioniert, erfahren Sie ab Seite 23.

Als unabhängiger Stiftung war es uns möglich, innerhalb einer Woche auf diese dringende Anfrage zu reagieren. Doch nie hätten wir ohne unseren Wissenschaftlichen Beirat entschieden. Er ist quasi «das Gewissen» der Werner Siemens-Stiftung. Seine hochkarätigen Mitglieder verfügen über die nötigen Kompetenzen, um einzuschätzen, ob ein eingereichtes Forschungsprojekt realisierbar ist. Sie können dank ihrer guten Vernetzung auch in Erfahrung bringen, ob die Antragsteller einen innovativen Ansatz verfolgen, ob sie international in der ersten Liga spielen – und ob die Erfolgchancen intakt sind.

Nicht nur wir schätzen unseren Wissenschaftlichen Beirat. Seine Mitglieder sind auch ausserhalb der Werner Siemens-Stiftung hoch angesehen. Im Jahr 2020 wurden gleich zwei von ihnen in namhafte Ämter gewählt: Professor Bernd Pichler wurde zum Dekan der Medizinischen Fakultät der Universität Tübingen berufen, und Professor Gerald Haug ist der neue Präsident der Leopoldina. Wir freuen uns, Ihnen unseren erfolgreichen Wissenschaftlichen Beirat in der Rubrik «Wer wir sind» vorzustellen (Seite 114–117).

Im Corona-Jahr 2020 wurde rasch klar, dass die von uns unterstützten Forschungsprojekte wegen der Pandemie in Verzug geraten würden. Vor allem die Projekte, die von der Thematik her «im Feld» operieren müssen – etwa in der Tiefsee oder auf dem Atlantik –, waren besonders betroffen. Aber auch die Forschungsprojekte mit vielen internationalen Kooperations-

partnern verzögerten sich um rund drei Monate. «Die Covid-19-Pandemie machte alles sehr kompliziert» – was Domenico Giardini für das Bedretto-Untergrundlabor feststellt, gilt mehr oder weniger auch für alle anderen von uns unterstützten Projekte. Denn in der Forschung, wo heute fast immer international zusammengearbeitet wird, sind geschlossene Grenzen verheerend. Wie engagiert, fantasievoll und innovativ die Projektleiter mit den Beschränkungen umgingen und welche Erfolge sie trotz Pandemie im Jahr 2020 erzielten, erfahren Sie ab Seite 23.

Wir wünschen Ihnen eine interessante Lektüre – und dass Sie gesund bleiben.

Ihr Gerd von Brandenstein
Vorsitzender des Beirats der Familie
der Werner Siemens-Stiftung

Inhalt

Was wir fördern

14 Innovationen in Technik und
Naturwissenschaften

16 Vorwort

Unterstützte Projekte

23 Viren sprengen

41 Smarte Implantate

57 Elektrisierende Differenzen

74 Bereit zum Durchstarten

76 Botschafterin der Meere

80 Die Spannung steigt

82 Tests unter Druck

84 Schlaues Laser-Skalpell

88 Flexible Schlüssel

90 Der Natur abgeschaut

94 Die Power eines einzelnen Atoms

96 In Zellen hineinschauen

100 Hotspots im Untergrund

104 Hammerbohrungen

106 Kostbare DNA aus der Frühzeit

Wer wir sind

110 Dame von Welt

114 Gremien

116 Wissenschaftlicher Beirat

118 Drei Fragen an Gianni Operto

120 Vergabeprozess

122 Impressum

Unterstützte Projekte

Viren sprengen

Entwicklung eines Breitbandmedikaments gegen verschiedene Virenarten an der EPFL



Von Covid-19 über das Denguefieber bis zu Ebola: Viren können dem Menschen schwer zusetzen. Bislang ist es nicht gelungen, analog zu den Antibiotika ein breit wirksames Medikament gegen Viren zu entwickeln. Das könnte sich bald ändern.

Gibt es bald ein «Antivirotikum»?



Die Idee zu einem «Antivirotikum» stammt von Materialwissenschaftler Francesco Stellacci (rechts). Für die Realisierung hat er sich mit Fachkräften aus der Medizin zusammengetan.



Der Traum von einem Breitbandmedikament gegen Viren könnte bald Realität werden.

Francesco Stellacci möchte der Medizin einen lang gehegten Wunsch erfüllen: ein Medikament, das gegen verschiedene Viren wirkt – inklusive des neuartigen Coronavirus. Dank der Werner Siemens-Stiftung kommt der Professor an der École polytechnique fédérale de Lausanne seinem Traum von einem «Antivirotikum» einen grossen Schritt näher.

Das neuartige Coronavirus hat die Menschheit 2020 kalt erwischt. Kein Wunder, laufen die Bestrebungen auf Hochtouren, wirksame Medikamente und Impfstoffe dagegen zu finden. Wenn es gelingt, wird die Welt wieder anders aussehen. Noch schöner wäre es, einem alten Menschheitstraum näher zu kommen und über ein Medikament zu verfügen, das nicht nur gegen ein einziges Virus, sondern gegen viele verschiedene Viren wirksam ist.

Mehrere Tausend Virenarten besiedeln gemäss Schätzungen unseren Planeten. Einige sorgen für viel Schaden und Leid bei Menschen, Tieren und Pflanzen. Die Humanmedizin kennt weltweit rund fünfzig virale Infektionskrankheiten mit Millionen von Todesfällen und Erkrankungen jährlich. Gegen einige dieser viralen Krankheiten gibt es Impfungen – etwa gegen Pocken, Röteln, Masern und Hepatitis A und B. Gegen andere Viruskkrankheiten wurden mehr oder weniger wirksame Medikamente entwickelt, so zur Behandlung von Herpes, Hepatitis B und HIV. Die Liste mag nicht abschliessend sein, ist aber dennoch von bescheidenem Umfang.

Viren schädigen, Zellen schonen

Warum ist es so anspruchsvoll, antivirale Medikamente zu entwickeln? Weil Viren keinen eigenen Stoffwechsel haben. Sie vermehren sich, indem sie in die Zellen von Pflanzen, Tieren und Menschen eindringen. Wirkstoffe, die Viren verlässlich zerstören, gibt es zwar, zum Beispiel in Form von Desinfektionsmitteln. Aber was ausserhalb des Körpers etwa auf Türgriffen oder auf der Haut funktioniert, kann im Körperinnern verheerende Schäden an den Zellen anrichten.

Das ist auch das Problem der heute verfügbaren antiviralen Medikamente: Sie funktionieren meist dadurch, dass sie die Vermehrung der Viren in unseren Zellen blockieren, was aber auch den Zellen selbst schaden und zu gravierenden Nebenwirkungen führen kann. Viel sicherer ist es, zu verhindern, dass Viren überhaupt in menschliche Zellen eindringen. Auch solche Medikamente gibt es. Allerdings zerstören sie die Viren nicht vollends.

Wirkungsvolle Täuschung

Einen Ansatz zur vollständigen Zerstörung von Viren verfolgt Francesco Stellacci, Professor für Materialwissenschaften und Leiter des Supramolecular Nano-Materials and Interfaces Laboratory am Institute of Materials der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL). Seit zehn Jahren arbeitet er daran, einen breit wirksamen Wirkstoff gegen Viren zu entwickeln. Zuerst forschte er dazu mit Gold-Nanopartikeln, jetzt mit modifizierten Cyclodextrinen (Zuckermolekülen). Diese werden bereits heute als Nahrungsmittelzusätze verwendet; auch werden sie als mögliche Medikamente etwa gegen Atherosklerose getestet. Nun schwebt Stellacci ein grosser Wurf vor, wie er vor bald hundert Jahren dem schottischen Bakteriologen Alexander Fleming gelungen ist. Dieser entdeckte mit dem Penicillin ein Antibiotikum, das gegen eine Vielzahl von Bakterien wirkt.

Analog dazu will Francesco Stellacci ein «Antivirotikum» entwickeln und dazu Cyclodextrine gegen Viren einsetzen. Dazu modifiziert er diese mit Alkylgruppen – Ketten von Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen –, an deren Ende sich Sulfonsäuregruppen befinden. Werden Cyclodextrine so verändert,

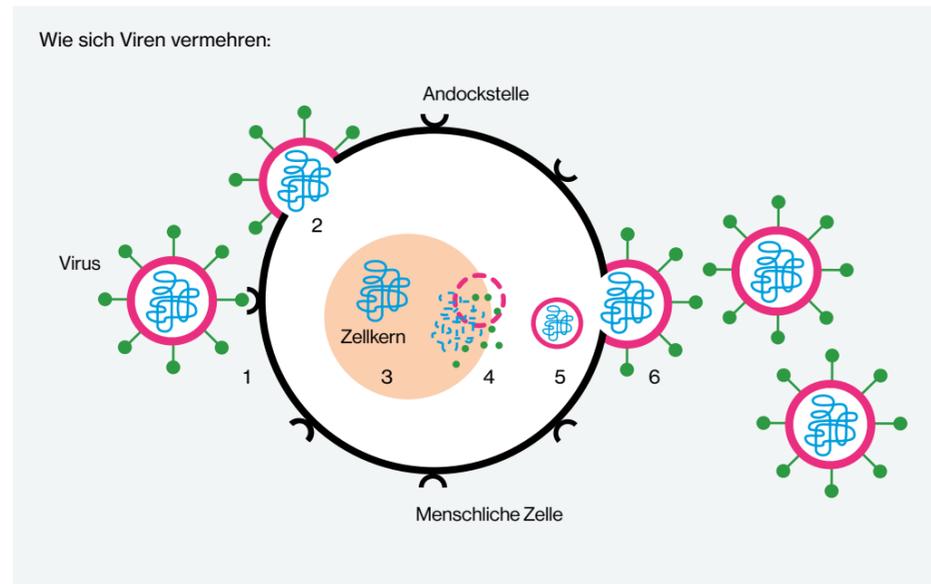
sind sie zu einem Täuschungsmanöver fähig. Sie gaukeln den Viren vor, Erkennungsmoleküle auf der Oberfläche menschlicher Zellen zu sein. Das zieht die Viren an und bindet sie an die «Attrappen».

Binden und sprengen

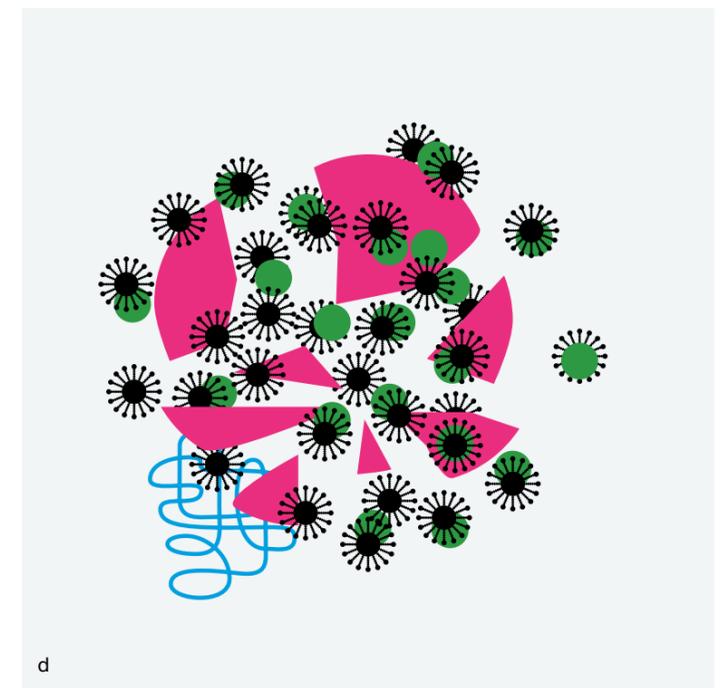
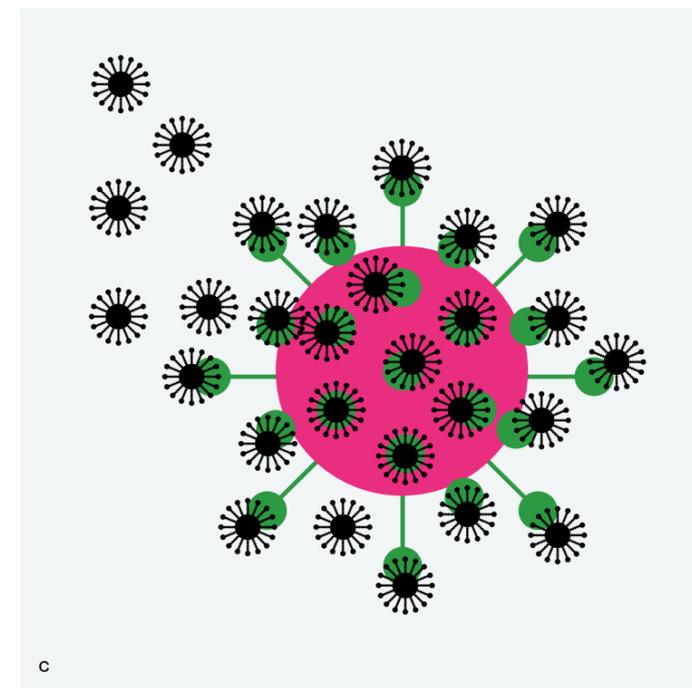
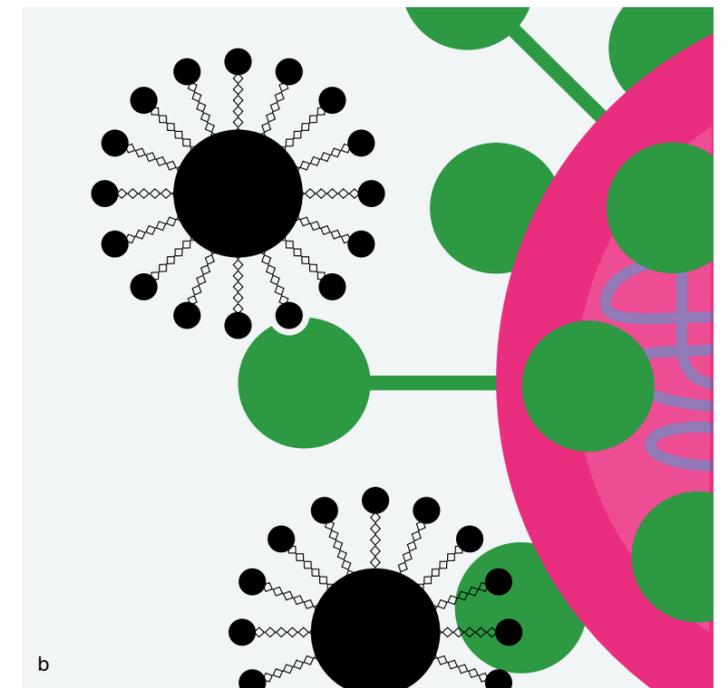
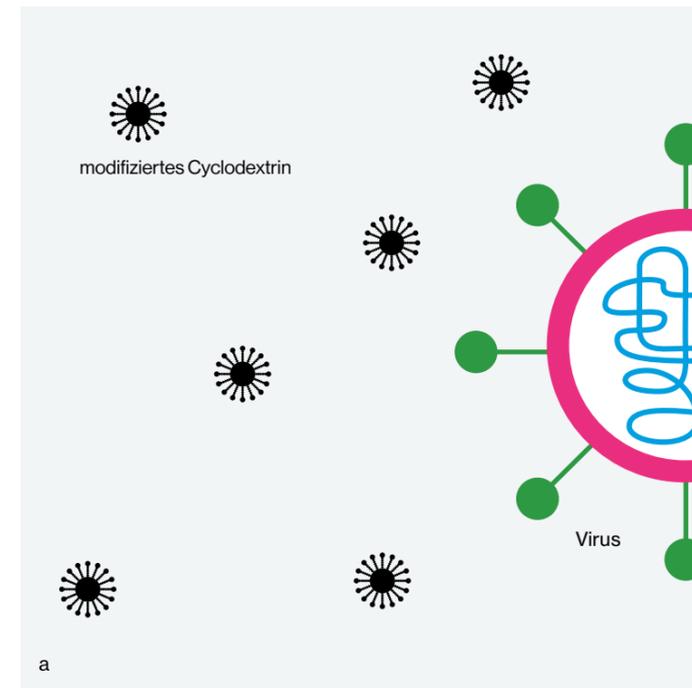
Die Idee, Viren so zu täuschen, existiert seit den 1930er-Jahren. Das allein reicht aber nicht aus, um Viren zu zerstören. Stellacci hat den Ansatz deshalb um einen äusserst wirkungsvollen zweiten Teil ergänzt: Die modifizierten Cyclodextrine binden sich mit ihren langen «Fangarmen» so an die Viren, dass ein starker mechanischer Druck auf deren Hüllen entsteht. Das Resultat: Die Virenhüllen werden gesprengt.

Die Viren sind damit im Gegensatz zu bisherigen antiviralen Medikamenten nicht nur in ihrer Vermehrung blockiert, sondern effektiv und irreversibel zerstört. Ihre Überreste werden vom Immunsystem entsorgt. Der Clou: Ein Schaden an menschlichen Zellen ist ausgeschlossen, weil das ganze Geschehen ausserhalb der Zellen stattfindet.

Viren ausserhalb der Zellen angreifen und dabei mit dem Druck auf die Viren ein mechanisches und nicht ein chemisches Prinzip anwenden: Mit diesem einzigartigen Ansatz hofft Francesco Stellacci, möglichst viele Virenarten bekämpfen zu können. Dabei gelte es aber realistisch zu bleiben: «So, wie es kein Antibiotikum gibt, das alle Bakterienarten abzutöten vermag, wird es wahrscheinlich nie gelingen, eine einzige Substanz zu finden, die gegen alle Viren wirkt. Dazu sind Viren einfach zu unterschiedlich.» So binden sich zum Beispiel nicht alle Viren an diese speziellen Zuckermoleküle.



Wie sich Viren im Menschen vermehren: Das Virus dockt an eine menschliche Zelle an (1), dringt in die Zelle ein (2) und schleust sein Erbgut in den Zellkern (3). Die menschliche Zelle wird zum Wirt des Virus: Im Zellkern werden das Erbgut und die Proteinhülle des Virus kopiert (4), die Kopien reifen zu neuen Viren (5) heran, die aus der Wirtszelle austreten (6) und sich alle in anderen Zellen des Menschen nach dem gleichen Prinzip vermehren.

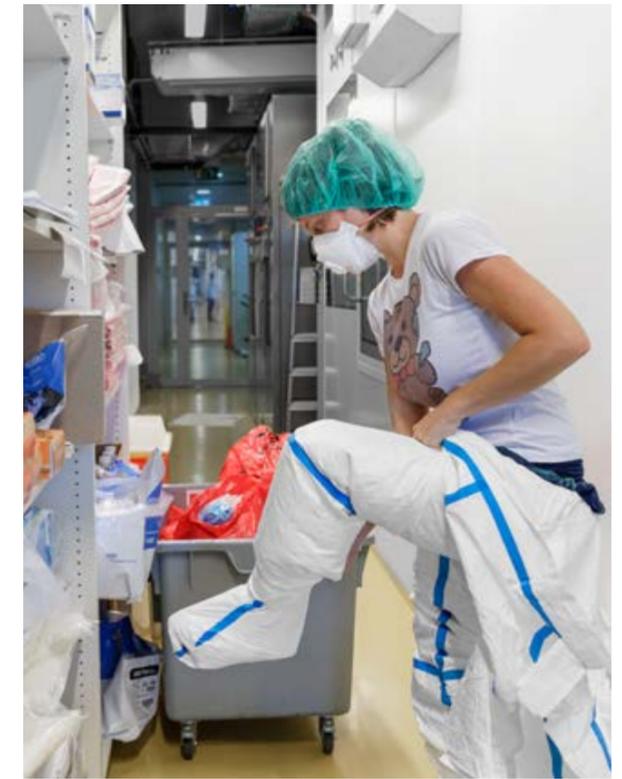


Wie Francesco Stellacci Viren unschädlich machen will:

- Modifizierte Cyclodextrine (schwarz) geben sich gegenüber den Viren als Erkennungsmoleküle einer menschlichen Zelle aus.
- Das Virus dockt an die Cyclodextrine an und die Cyclodextrine binden sich mit ihren «Armen» an die Viren.
- Die Cyclodextrine üben einen starken mechanischen Druck auf das Virus aus.
- Der Druck zerstört die Proteinhülle des Virus. So wird das Virus unschädlich gemacht, bevor es in eine Zelle eindringen und sich dort vermehren kann.



Das Team um Francesco Stellacci entwickelt das Breitbandmedikament gegen Viren im eigenen Supramolecular Nano-Materials and Interfaces Laboratory und ...



... testet es im Hochsicherheitslabor der EPFL. Dort darf man nur mit Schutzkleidung hinein ...

Francesco Stellacci schätzt, dass sein Wirkstoff etwa gegen 15 der gravierendsten virusbedingten Krankheiten beim Menschen wirkt. So wie Penicillin bisher die erste Wahl bei einer bakteriellen Infektion ist, möchte Stellacci auch seinen Wirkstoff als erste Wahl gegen Virusinfektionen verstanden wissen. Doch ähnlich wie bei Antibiotika werden die Menschen mit einem «Antivirotikum» genauso sorgsam umgehen müssen. Denn auch Viren entwickeln Resistenzen gegen Medikamente. Stellacci geht aber davon aus, dass diese Gefahr bei seinem Ansatz geringer ist als bei herkömmlichen antiviralen Medikamenten – weil sich der Angriff auf die Viren ausserhalb der Zellen abspielt.

Atemwegsinfektionen im Fokus

Einen speziellen Fokus seiner Forschung hat Stellacci nach dem Ausbruch der Covid-19-Pandemie auf das neuartige Coronavirus und andere respiratorische Viren gelegt – also auf Viren, die Erkrankungen der Atemwege auslösen oder über den Luftweg übertragen werden. «Es sind vor allem diese Virenarten, die ein hohes Risiko beinhalten, Pandemien auszulösen», sagt Stellacci.

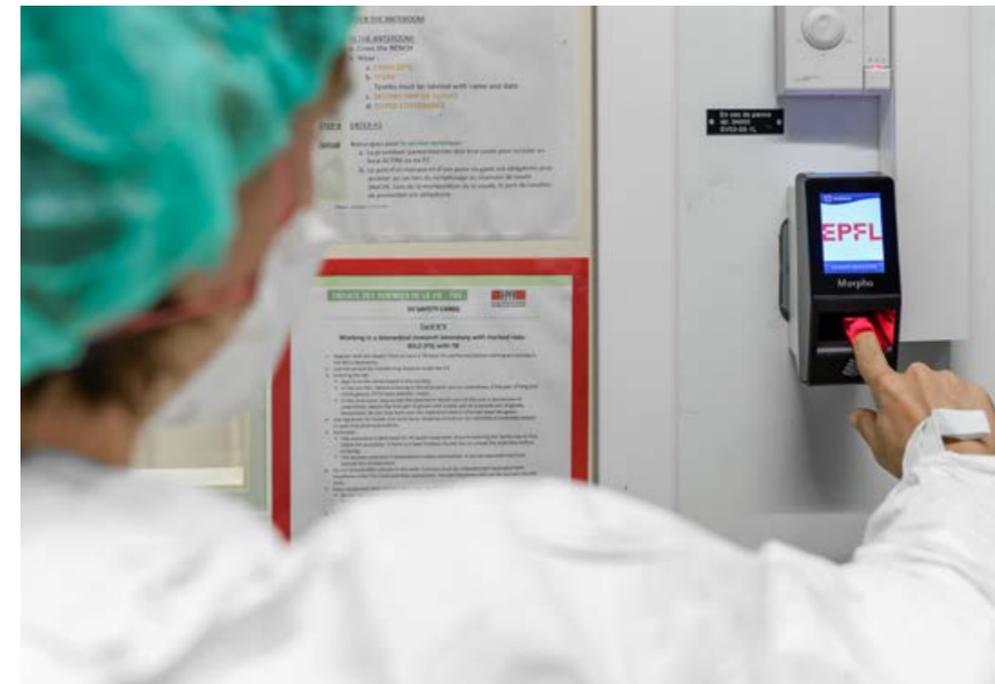
In seiner Forschung arbeitet er unter anderem mit Spezialistinnen und Spezialisten der Virologie und Infektiologie an der Universität Genf und an den Genfer Universitäts- spitälern (abgekürzt HUG: Hôpitaux universitaires de Genève) zusammen. In Laborversuchen hat der Ansatz bereits funktioniert. Menschliche Zellen liessen sich nach der Zugabe der Zuckermoleküle nicht mehr mit diversen Virenarten infizieren – auch nicht mit dem neuartigen Coronavirus. Auch Tests mit Lungengewebe, das im Labor

gezüchtet wurde, verliefen erfolgreich. Und im Tierversuch mit Mäusen funktionierte der Ansatz mit Grippeviren und Herpesviren. Besonders erfreulich: Erste Versuche zeigen, dass das Prinzip sogar bei Viren funktioniert, die gar keine Hülle besitzen, sondern nur ein sogenanntes Kapsid – eine Proteinverpackung des Virusgenoms. Dies erweitert den Kreis der Virenarten, die angegriffen werden können.

Start der klinischen Versuche

Die erfolgreichen Resultate haben auch die Werner Siemens-Stiftung überzeugt. Sie fördert die nächste Phase der Wirkstoffentwicklung. So kann Francesco Stellacci von Frühling 2020 bis Ende März 2021 weitere toxikologische Studien durchführen und die Produktion des Wirkstoffs mit externen Partnern vorbereiten. Vor allem aber sollen die Resultate der ersten klinischen Studie bis Frühling 2021 vorliegen. In der Studie wird die Sicherheit des Wirkstoffes erstmals an den HUG am Menschen getestet. Dabei kommen verschiedene Versionen des Wirkstoffes zum Einsatz – auf alle sind bereits Patente angemeldet.

Sind die Resultate positiv, können die weiteren klinischen Studien folgen, um die Wirksamkeit des Ansatzes am Menschen zu prüfen. «Wenn alles gut geht und die weitere Finanzierung gesichert werden kann, sollte unser Wirkstoff bis spätestens 2025 als Medikament verfügbar sein. Vermutlich wird es die Form eines Sprays haben, den man sich in den Rachenraum sprüht», sagt Stellacci. Ein «Antivirotikum» in Sprayform – was für eine elegante Lösung für ein gravierendes weltweites Problem, das mit dem neuartigen Coronavirus noch drängender geworden ist.



... und nach der Identifizierung mittels Fingerabdruck.



In der zweiten Schleuse zieht die Forscherin einen Spezialanzug mit Filtervorrichtung am Rücken an (siehe Bild unten).



Optimal geschützt, holt die Forscherin im Hochsicherheitslabor die Virenproben aus dem Kühlschrank, um sie verschiedenen Tests zu unterziehen.



Henkersmahlzeit: Himbeerfarbene Nährlösung für die Laborviren, bevor sie von den Cyclodextrinen zerstört werden.

«Forschung, die für Mensch und Umwelt bedeutsam ist»



Materialwissenschaftler mit ethischem Weitblick: Projektleiter Francesco Stellacci will Forschung betreiben, die auch Menschen in ärmeren Ländern zugute kommt.

Ein Materialwissenschaftler, der nach einem «Antivirotikum» forscht – das muss ein vielseitig interessierter Mensch sein. In der Tat: Francesco Stellacci von der EPFL denkt global und wird seine Forschungsergebnisse allen Interessierten zur Verfügung stellen. Damit will er Forschungsgruppen weltweit anregen, «nach vielleicht noch besseren Lösungen zu suchen».

Was ist Ihre Motivation, als Materialwissenschaftler medizinische Forschung zu betreiben?

Francesco Stellacci: Ich will Forschung betreiben, die für Mensch und Umwelt von Bedeutung ist. Wichtig ist mir zum Beispiel, Lösungen für die Probleme in ärmeren Ländern zu finden. Weil Gesundheitsprobleme dort zentral sind, habe ich meinen Fokus immer mehr auf die medizinische Forschung gelegt. Ich habe unter anderem Zusatzstoffe entdeckt, die Impfstoffe gegen Viren bis zu zwei Monate lang temperaturstabil halten – ohne Kühlschrank oder dergleichen. Das macht es möglich, Impfprogramme in Entwicklungsländern deutlich kostengünstiger zu realisieren. Bis zu 80 Prozent der Kosten entfallen nämlich auf die Kühlung der Impfstoffe. Ich habe meine Entdeckung absichtlich nicht patentieren lassen, damit sie möglichst breit zum Einsatz kommen kann.

Und jetzt wollen Sie ein Breitbandmedikament gegen Viren entwickeln. Ja, ein solches Medikament ist dringend nötig. Wenn jedes Medikament

nur gegen ein einzelnes Virus wirkt, ist die Behandlung teuer und nicht für alle Menschen zugänglich. Ein antivirales Medikament mit Breitbandwirkung wäre viel effektiver und würde weniger Kosten für das Gesundheitswesen verursachen, was gerade für Entwicklungsländer zentral ist.

Die Hoffnung besteht, dass ein Impfstoff gegen das neuartige Coronavirus gefunden wird, bevor Ihr Medikament vorliegt. Lohnt es sich da, den Fokus auf die Wirksamkeit bei Covid-19 zu legen?

Ich hoffe sehr, dass wir möglichst bald einen Impfstoff gegen Covid-19 haben werden. Aber sicher ist das nicht. Ein Medikament gegen eine Klasse von Krankheiten zu finden ist grundsätzlich einfacher, als für jede Krankheit einen eigenen Impfstoff zu entwickeln. Und wenn wir über ein breit gegen Viren wirkendes Medikament verfügen, kann dies die Herstellung eines Impfstoffes erleichtern.

Inwiefern?

Ein Medikament heilt, ein Impfstoff schützt präventiv. Um die Wirksamkeit eines Impfstoffes nachzuweisen,

müssen sich Menschen der Gefahr einer Infektion aussetzen. Wenn kein Medikament vorhanden ist und der Impfstoff nicht wirkt, setzt man Menschen mit solchen Tests der Lebensgefahr aus. Wenn aber ein Medikament gegen das entsprechende Virus verfügbar ist, ist ein Impfstofftest viel weniger heikel. Aber wie gesagt, wenn wir schon bald einen Impfstoff gegen Covid-19 haben, umso besser. Dass er bei allen Menschen perfekt wirken wird, dafür gibt es dann aber immer noch keine Garantie. Ein Medikament ist also auf jeden Fall hilfreich. Zumal es auch gegen Viren möglicher nächster Pandemien und gegen zahlreiche weitere Viren wie etwa das Influenzavirus wirken kann. Eine erheblich bessere Behandlung von Grippekranken, das wäre fantastisch.

Sie werden Ihre Forschungsergebnisse für alle Interessierten verfügbar machen. Was erhoffen Sie sich davon?

Wir wollen damit andere Forschungsgruppen anregen, nach vielleicht noch besseren Lösungen zu suchen. Vielleicht findet jemand später einen noch

eleganteren Weg, unsere Zuckermoleküle zu imitieren oder Druck auf Viren aufzubauen. Ich will zeigen, dass das Prinzip funktioniert. Dann werden sich andere Forschende ermutigt fühlen, ebenfalls damit zu arbeiten. So funktioniert die Wissenschaft. Und genau so soll es sein.

Wenn Sie Erfolg haben mit diesem Projekt, welches Vorhaben möchten Sie als nächstes anpacken?

Es gibt ein Thema, das mich schon seit Jahren beschäftigt und auch betrübt. Insbesondere in ärmeren Ländern sterben Kinder oft an infektiösen Durchfallerkrankungen. Man spricht von bis zu einer halben Million Todesfällen pro Jahr. In einem nächsten Projekt möchte ich versuchen, eine Therapie dagegen zu finden. Neben der Medizin interessieren mich ökologische Fragestellungen. Ich würde gerne dazu beitragen, eine nachhaltige Form von Plastik zu entwickeln, die unsere Umwelt nicht belastet. Es gibt noch viele Herausforderungen. Ich bin motiviert, einige davon mit meiner Forschung anzugehen.

Zahlen und Fakten

Projekt

Francesco Stellacci arbeitet an der Entwicklung eines antiviralen Wirkstoffs mit Breitbandwirkung, der gegen eine Vielzahl von Viren einsetzbar sein soll. Ein spezieller Fokus liegt dabei auf Covid-19 und anderen Atemwegsinfektionen.

Unterstützung

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt das Projekt von April 2020 bis März 2021. Innerhalb eines Jahres soll der Wirkstoff in vitro und im Tiermodell getestet und die GMP-Produktion (Good Manufacturing Practice) vorbereitet werden. Zudem wird eine erste klinische Studie an den Genfer Universitätsspitalern (HUG) durchgeführt.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung

5 Mio. Schweizer Franken

Projektdauer

2020–2021

Projektleitung

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

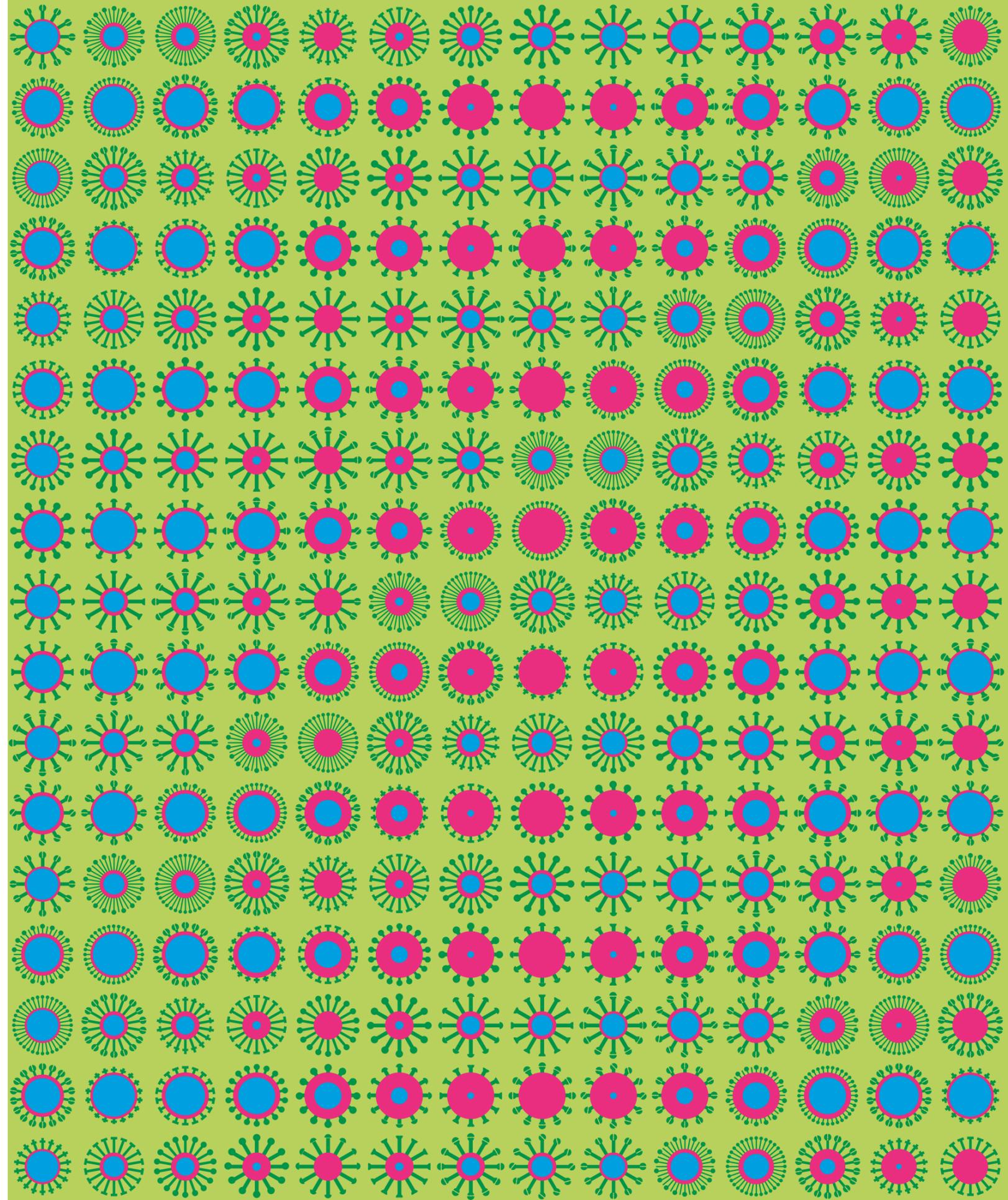


Schon fast ein Maskottchen für das Forschungsteam: oranges Virus-Modell, das unter Druck in seine Bestandteile zerfällt.

breit wirksam antiviral kostengünstig

Innovation

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt die Entwicklung eines antiviralen Wirkstoffs, der gegen eine Vielzahl von Viren einsetzbar sein soll. Antivirale Medikamente mit Breitbandwirkung wären für die Menschheit ein enormer Gewinn.



Smarte Implantate

Damit auch komplizierte Knochenbrüche problemlos heilen



Knochen sind weder starr noch statisch, sondern bauen sich ständig um, auf oder ab. Doch leider sieht man von aussen nicht, was in ihrem Innern vor sich geht. Zum Problem wird das bei komplizierten Knochenbrüchen. Bisher konnte man nach der Operation nur abwarten, ob die Fraktur gut heilte, oder eben nicht. Zukünftig sollen intelligente Implantate gegensteuern, wenn der Heilungsprozess schiefzugehen droht.

Überwachte Heilung

Bei Knochenbrüchen setzt die Medizin bisher auf Standardimplantate: Eine Schiene wird mit dem gebrochenen Knochen verschraubt – egal, ob der Knochen verdreht, gebogen oder gestaucht wurde. Bei jeder zehnten Frakturbehandlung treten daher auch Komplikationen auf. Am Universitätsklinikum des Saarlandes entwickelt nun ein interdisziplinäres Team intelligente Implantate, die den gebrochenen Knochen nicht nur stabilisieren, sondern während der Heilungsphase auch individuelle Fehlbelastungen erkennen und dann gegensteuern. Das Projekt wird neu von der Werner Siemens-Stiftung unterstützt.



Wo wäre die beste Stelle am Knochen für das intelligente Implantat? Der Initiator des Projekts, Tim Pohlemann (links), im Gespräch mit Projektleiter Marcel Orth.

Die Behandlung von Knochenbrüchen erlebte bislang zwei Revolutionen: In den 1960er-Jahren wurden Frakturen erstmals mithilfe von Platten fixiert, sodass Patientinnen und Patienten nicht mehr wochenlang mit Gips herumlaufen mussten. Rehabilitationszeiten verkürzten sich, Fehlstellungen wurden verhindert und Einschränkungen der Bewegungsfreiheit minimiert. Allerdings gab es lange Zeit nur einige wenige standardisierte Platten, die für Skiunfälle entwickelt worden waren. Für komplexe Spiralbrüche oder Trümmerfrakturen, wie sie etwa bei Verkehrsunfällen auftreten, eigneten sich diese Platten nur bedingt. Als zweite Revolution kann deshalb die Entwicklung zahlreicher neuer Implantate ab den 1980er-Jahren bezeichnet werden.

Das Universitätsklinikum Saarland hat sich nun zum Ziel gesetzt, die dritte Revolution in der Behandlung von Frakturen einzuleiten. Gemeinsam mit Projektpartnern aus den Bereichen Technische Mechanik, Mechatronik und Informatik wollen die Mediziner intelligente Implantate entwickeln. Diese sollen die Heilung von Frakturen überwachen und wenn nötig positiv beeinflussen – und zwar autark, also ohne dass Arzt oder Patient etwas dafür tun müssen.

Individuelle Frakturbehandlung

Heute kommt es nach Frakturbehandlungen in rund jedem zehnten Fall zu Komplikationen. Die Betroffenen leiden an Schmerzen und brauchen Nachbehandlungen. Das belastet nicht nur sie, sondern auch die Gesellschaft: Wegen der verlängerten Therapie steigen die Gesundheitskosten, und die Patientinnen und Patienten können ihrer Arbeit nicht nachgehen. «Durch innovative Techniken könnte die Frakturbehandlung

individueller, sicherer und kostengünstiger werden», sagt Projektleiter Dr. Marcel Orth vom Universitätsklinikum Saarland.

Grundlage für die intelligenten Implantate sollen die Standardplatten sein, wie sie heute schon für die Stabilisierung von Knochenbrüchen eingesetzt werden. Auch externe Fixierungen kommen als Träger infrage, denn sie haben den Vorteil, dass sie die sensiblen Weichteile besser schonen. An die Standardplatte oder an die Fixierung soll dann eine Schicht aus «intelligenten» Materialien angebracht werden. Die neuen Materialien sind insofern intelligent, als sie über sensorische und aktorische («selbst handelnde») Eigenschaften verfügen (siehe Interview Seite 48–49). Mechatroniker des Zentrums für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA) in Saarbrücken feilen derzeit daran, diese neuen Technologien aus der Materialtechnik erstmals überhaupt auf den Medizinbereich zu übertragen.

Intelligente Implantate

Ziel ist, dass das intelligente Implantat drohende Fehlbelastungen des gebrochenen Knochens erkennt und darauf reagiert. Wirken beispielsweise zu starke Kräfte auf die Fraktur, versteift sich das Implantat und schon damit den Knochen. Bewegt sich der Patient zu wenig, verformt es sich und wird flexibler, sodass der Knochen stärker belastet wird. Es kann extern überwacht werden, etwa von einem Rechner oder einem Smartphone. Nach der Heilung wird es entfernt. Geplant ist, die intelligenten Implantate modular herzustellen, als miteinander kombinierbare Bauteile. Dadurch sind sie in allen Formen und Grössen verfügbar. Und es macht die Nachbehandlung einfacher.



Chirurg und Klinikdirektor Tim Pohlemann ist der Kopf des interdisziplinären Teams, das die intelligenten Implantate entwickelt.

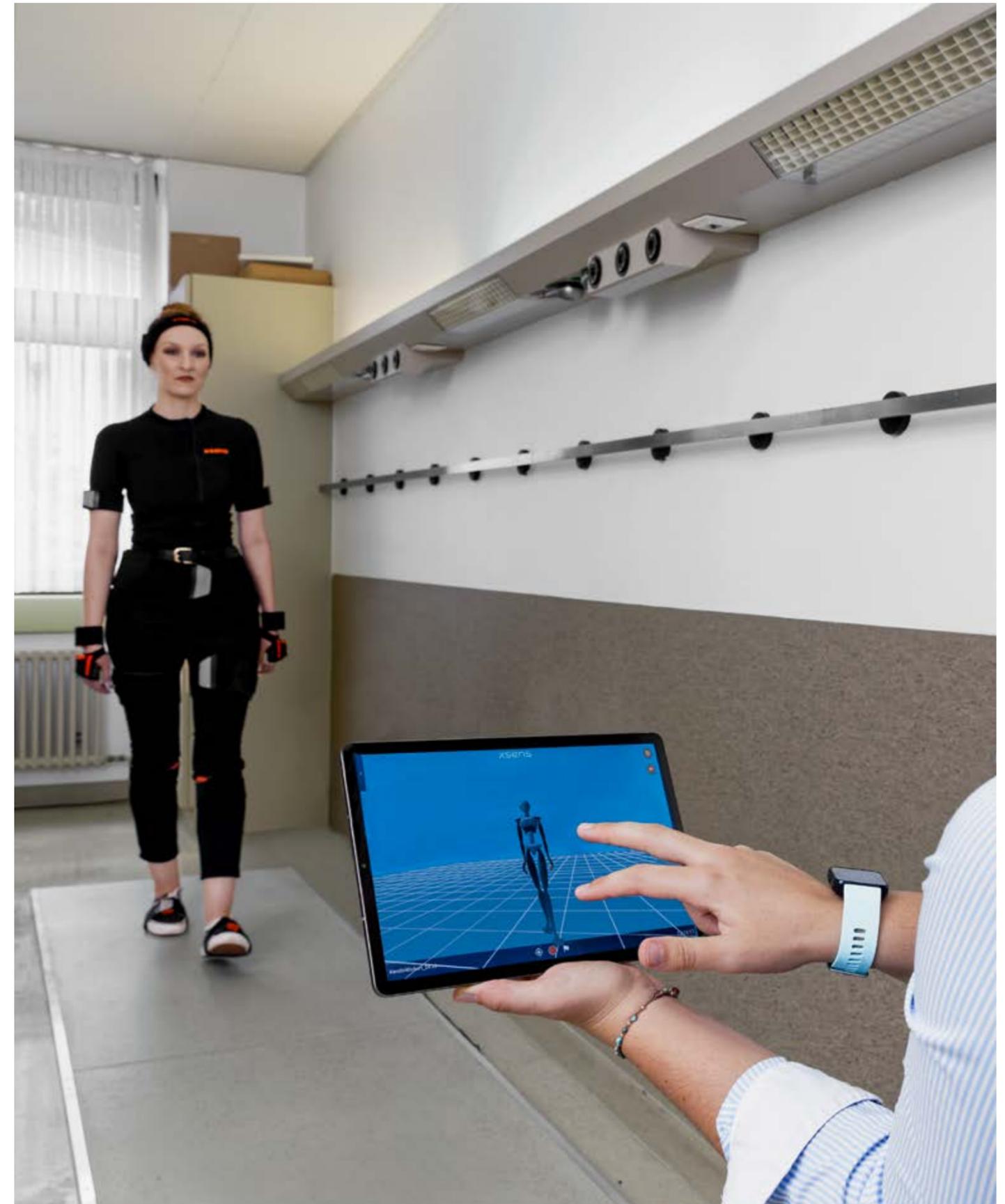
Damit die intelligenten Implantate dereinst die Heilung unterstützen können, muss aber zuerst klar sein, unter welchen Umständen Knochenbrüche am besten heilen und wann es zu Komplikationen kommt. «Zurzeit weiss niemand sicher, warum Heilungsstörungen auftreten», sagt Professor Tim Pohlemann, Direktor der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum des Saarlandes. Bisher können die behandelnden Ärzte der Patientin oder dem Patienten nach einem Eingriff bloss Anweisungen geben, wie stark der Knochen belastet werden darf. «Danach kann man nur noch Daumen drücken und hoffen.» Welche Belastung wie zur Heilung beiträgt, ist weitgehend unbekannt. Zudem weisen Resultate aus Voruntersuchungen darauf hin, dass selten getan wird, was Ärztinnen und Ärzte verordnen. «Vermutlich gelingt es Patienten im Alltag gar nicht, den Knochen korrekt, beispielsweise mit halbem Körpergewicht, zu belasten», so Pohlemann.

Den Heilungsprozess verstehen

Ein wichtiger Teil und eine der grössten Herausforderungen des Projekts besteht deshalb darin, den Heilungsprozess richtig zu verstehen. Die ersten Untersuchungen dazu laufen. Testpersonen mit einer Fraktur am Unterschenkel tragen intelligente Schuhsohlen, die mithilfe von 16 Drucksensoren 82 Werte pro Schritt aufzeichnen. Auf diese Art und Weise können die Kräfte eruiert werden, die auf die lädierten Knochen wirken. Weitere Simulationen und Experimente am Lehrstuhl für Technische Mechanik der Universität des Saarlandes helfen zu verstehen, was mit den Knochen genau geschieht, wenn sie den Belastungen des Alltags ausgesetzt sind.

Welche Verhaltensweisen die Heilung begünstigen und welche eher zu Komplikationen führen, soll mithilfe von künstlicher Intelligenz (maschinellern Lernen) herausgefunden werden. Aufgrund der Testdaten entwickeln Fachleute des Deutschen Forschungszentrums für Künstliche Intelligenz (DFKI) Algorithmen, die präzise Voraussagen dazu machen, unter welchen Umständen eine Heilung zu erwarten ist. Dabei definieren sie für diverse Parameter wie etwa Krafteinwirkung oder Dehnung Grenzwerte. Die Informatiker nutzen auch Technologien der Bilderkennung, sodass aufgrund von Fotos Prognosen zum Heilungsverlauf der Fraktur möglich werden.

Bis 2025 will das Projektteam den ersten Prototypen eines intelligenten Implantats gebaut und erstmals an Tierversuchen getestet haben. Bis die neue Technologie für Frakturbehandlungen am Menschen eingesetzt werden kann, dürfte es aber wegen aufwändiger Zulassungsverfahren wohl noch rund zwei Jahrzehnte dauern. Doch Projektleiter Marcel Orth findet, dass sich die Geduld lohnt. «Anderswo, beispielsweise beim Autofahren, sind smarte Anwendungen längst Standard. Es gibt keinen Grund, warum die innovativen Technologien aus der Materialtechnik nicht auch in der Medizin von grossem Nutzen sein könnten.»



Als Erstes werden die Grundlagen erforscht: Welche Kräfte wirken beim Gehen unter normalen Umständen auf die Knochen ein?



Die Entwicklung des intelligenten Implantats findet am ZeMA statt. In verschiedenen Experimenten erforscht das interdisziplinäre Team die Belastbarkeit von intakten Knochen und von Frakturen.

Knochenbrechen in guter Absicht

Wie werden Implantate intelligent? Zwei Mitglieder des Forschungsprojekts «Intelligente Implantate» geben Auskunft: der Mechatroniker Dr. Paul Motzki vom Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA) in Saarbrücken und der Mathematiker Dr. Michael Roland vom Lehrstuhl für Technische Mechanik an der Universität des Saarlandes.

Haben Sie sich schon einmal einen Knochen gebrochen?

Paul Motzki: Ja, beim Sport brach ich mir einmal den Oberschenkel. Da kamen zwei Nägel auf der Seite rein, das sah ziemlich schlimm aus. Aber die Fraktur verheilte zum Glück gut. Ich habe es aber in meinem nahen Umfeld mehrmals erlebt, dass es anders ausgehen kann. Mein Bruder brach sich das Schlüsselbein und hatte danach über zwei Jahre lang Probleme. Und ein Freund, der in Thailand mit dem Moped verunfallt war und sich den Oberarm brach, musste ebenfalls über lange Zeit zur Nachbehandlung. Dass Knochenbrüche nicht immer ohne Komplikationen heilen, ist mir also bekannt.

Nun sollen intelligente Implantate die Heilung unterstützen. Wie entwickeln Sie diese?

Michael Roland: Zunächst brauchen wir Daten, Daten, Daten. Denn wir müssen herausfinden, welche Kräfte überhaupt auf die Knochen einwirken. Dazu gibt es zwar Forschung bei Tieren, aber kaum welche beim Menschen. Die Mediziner sammeln derzeit Daten von Testpersonen, die auf smarten Schuhsohlen unterwegs sind. Wir simulieren die einwirkenden Kräfte und überprüfen sie experimentell. Für die Experimente haben wir zwei Maschinen entwickelt. Mit einem Gerät drücken und drehen wir die Knochen, bis sie brechen. Dann spannen wir sie auf einer anderen Installation ein. Dort lassen wir die gemessenen Kräfte auf die Knochen einwirken. So können wir sehen, wie sich der Knochen und die Fraktur verändern. Die Messungen prüfen zum Beispiel, wie steif der Knochen noch ist. Auch sehen wir über ein Kamerasystem, wie sich die Fraktur bewegt. Die Resultate unserer Experimente geben wir dann den Mechatronikern weiter.

Was machen die Mechatroniker mit den Resultaten?

Motzki: Aufgrund der Daten testen wir Mechatroniker die Materialien, mit denen wir das Implantat letztlich herstellen beziehungsweise modifizieren wollen, damit es smart wird. Die Tests laufen Tag und Nacht. So prüfen wir das Ermüdungsverhalten der Materialien. Das heißt, wir wollen herausfinden, wie sich die Materialien verändern, wenn wir Millionen von Zyklen durchspielen oder wenn wir Umgebungsbedingungen wie Temperatur oder Luftfeuchtigkeit verändern.

Wie sorgen Sie dafür, dass das Implantat intelligent wird?

Motzki: Uns schwebt vor, dass wir eine Standardplatte mit modularen Materialschichten versehen, die über sensorische Eigenschaften verfügen. Damit können die Kräfte exakt gemessen werden, die auf die Fraktur einwirken. Zudem soll das Implantat sogenannte aktorische Aufgaben übernehmen – das heißt, es muss in der Lage sein, die Heilung direkt zu beeinflussen, indem es die Signale der Sensoren in Bewegung oder Verformung überführt. Auch diese Aktorik wollen wir dank neuer Materialien erreichen.

Worum handelt es sich bei diesen intelligenten Materialien?

Motzki: Das sind spezielle Metalle, die sich durch thermische Aktivierung mechanisch verformen, sich aber an ihren Ursprungszustand «erinnern» können. Sie verfügen über eine sehr gute Sensorik. Wir experimentieren derzeit unter anderem mit einer Nickel-Titan-Mischung. Das ist eine sogenannte Formgedächtnislegierung. Man kennt diese bereits von Zahnspanngedrähten, verformbaren Brillengestellen oder in der medizinischen Anwendung von Stents. Die Technologie ist also schon recht gut erforscht. Es wurde auch schon versucht, sie mit neuen Materialien zu kombinieren, um eine bessere Aktorik zu erreichen. Auf dieser Forschung bauen wir auf.

Welches sind die grössten Herausforderungen bei der Herstellung smarter Implantate?

Roland: Bei den Simulationen sind wir auf einem guten Weg. Vermutlich wird es am schwierigsten sein, herauszufinden, worauf es bei der Frakturheilung eigentlich ankommt. Wann heilt ein Bruch problemlos ab, unter welchen Bedingungen treten Komplikationen auf? Dazu brauchen wir sehr viele Daten, auch von Patientinnen und Patienten, bei denen es zu Heilungsstörungen kommt. Diese Daten sind zentral, auf ihnen bauen unsere Simulationen und letztlich auch die Algorithmen auf, welche die Kollegen vom Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz, DFKI, entwickeln.

Motzki: Auf der technischen Seite ist die Aktorik die grösste Herausforderung. Aber ich bin ziemlich optimistisch, denn Materialien und Technologie sind grundsätzlich bekannt und

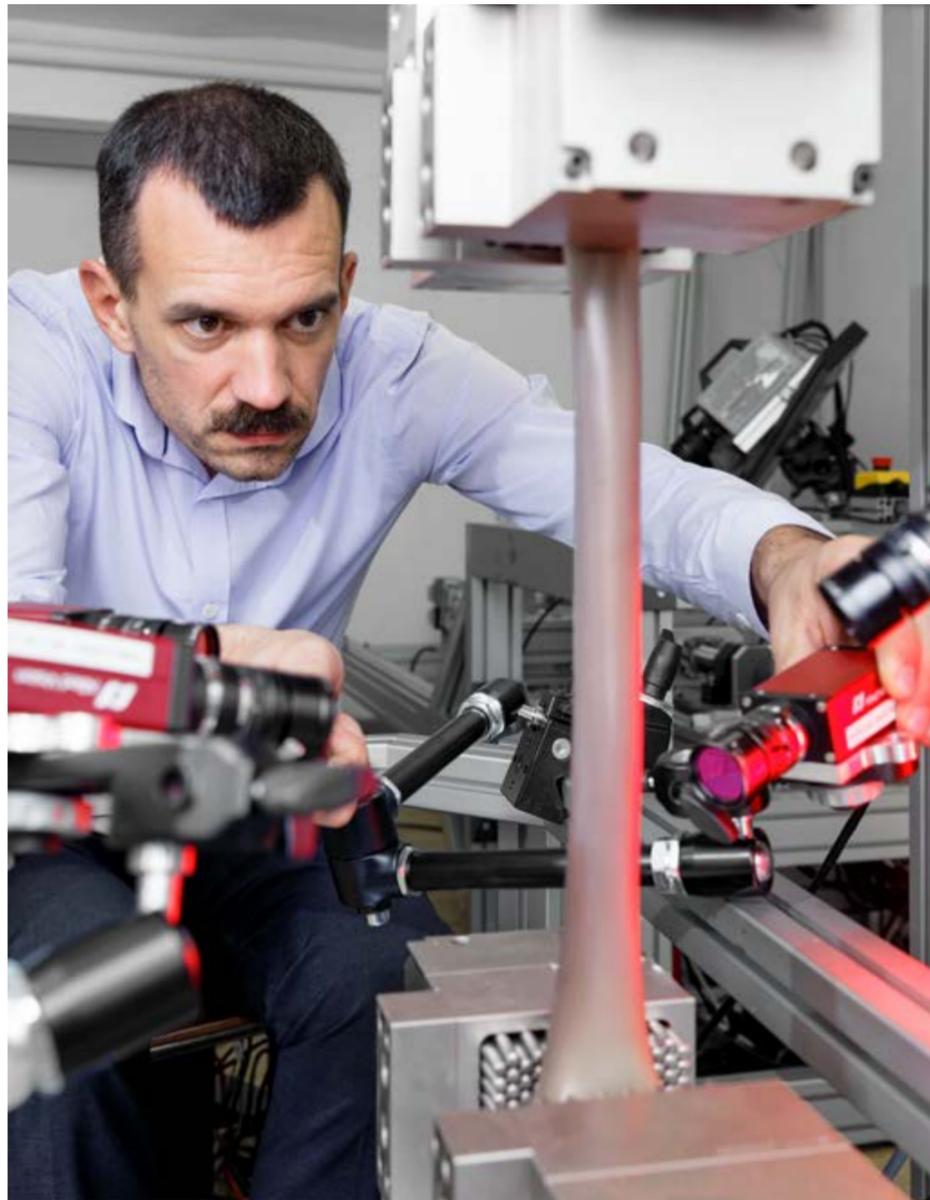
verfügbar. Wir müssen keinen neuen Stoff herstellen, sondern die Materialien lediglich für den Einsatz in der Medizin vorbereiten. Darin verfügen wir über eine grosse Expertise. Eine Herausforderung ist sicher auch das Zusammenspiel zwischen den Fachgebieten. Wir sind voneinander abhängig, weil wir von den jeweiligen Projektpartnern gute Daten brauchen. Und wir müssen aufpassen, dass wir dieselbe Sprache sprechen.

Wie meinen Sie das?

Motzki: Wir benutzen teilweise die gleichen Wörter für unterschiedliche Dinge. Das kann zu Missverständnissen führen. Ein Beispiel: Einmal sprachen die Mediziner von «Scherbewegungen». Sie meinten damit Bewegungen von Patientinnen und Patienten, die für die Heilung nicht ideal sind, weil sie die Frakturoberfläche seitlich verschieben können. Wir kennen aus der Technik zwar den Begriff der «Scherkraft», wussten aber nicht, was das mit Frakturen zu tun hat. So redeten wir anfangs aneinander vorbei. Dass wir hier im Saarland räumlich nah beieinander sind und uns treffen können, ist ein Vorteil. Wir haben einen sehr guten Austausch untereinander.

Gibt es auch Mentalitätsunterschiede zwischen den Vertretern der Fachgebiete?

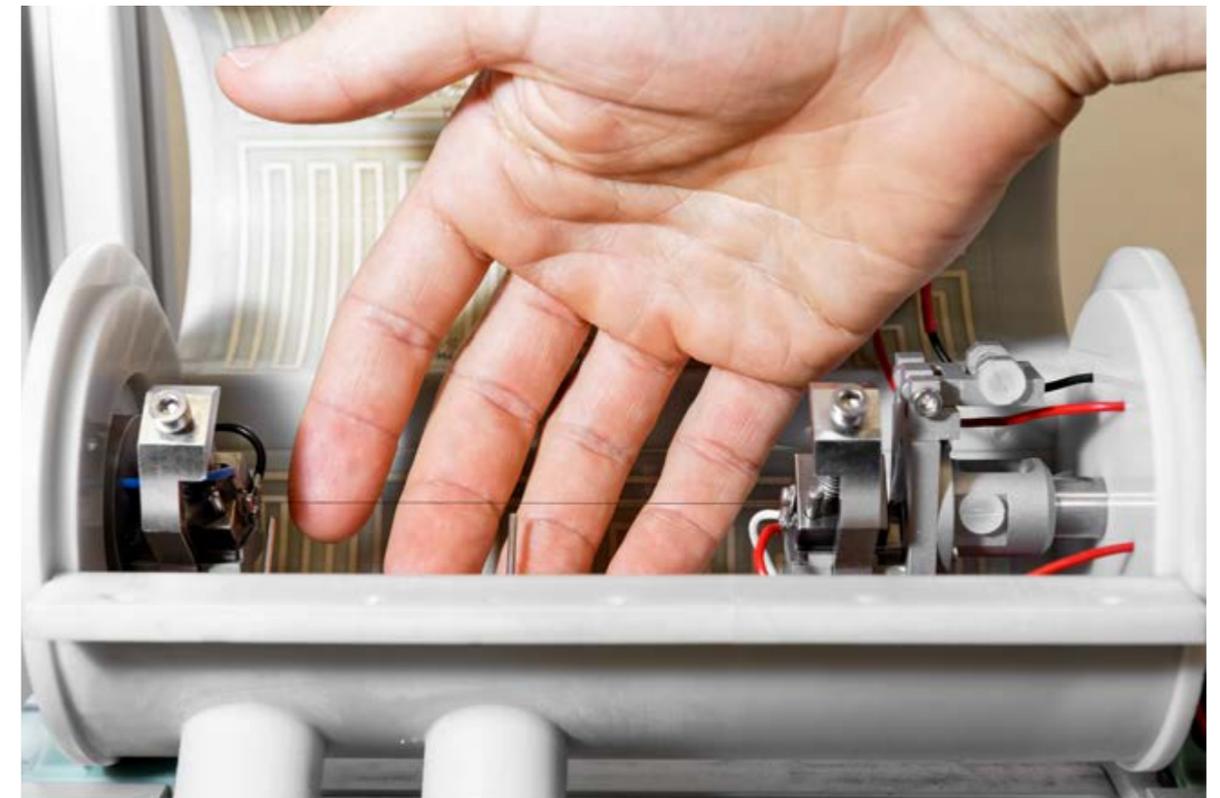
Motzki: Tatsächlich unterscheiden sich die Disziplinen stark. Wir Techniker sind auf Präzision getrimmt, es kommt auf jeden Millimeter an; wir suchen immer nach der Ideallösung und streben nach Innovationen. Die Medizin und im Speziellen die Chirurgie hingegen ist eine empirische Wissenschaft, die eher konservativ ist, weil sie das Risiko für die Patientinnen und Patienten minimieren muss. Und manchmal muss es zum Wohl der Operierten auch einfach schnell gehen. *Roland:* Mediziner haben nicht immer Zeit, um auf die Ideallösung zu warten. Gesundheit ist von extrem vielen Faktoren abhängig. Ich habe zum Beispiel gelernt, dass es besser sein kann, einen gebrochenen Knochen schnell zu operieren, statt abzuwarten, weil ansonsten die Gefahr einer Infektion steigt. Letztlich ist es die Aufgabe eines Mediziners, für jede Patientin und jeden Patienten eine gute Lösung zu finden. Für mich als gelernten Mathematiker ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit eine tolle Bereicherung.



Der Mathematiker Michael Roland von der Universität des Saarlandes überprüft am ZeMA experimentell die Messdaten, die die Drucksensoren der Testpersonen liefern. So können er und sein Team die Kräfte, die auf eine Fraktur einwirken, simulieren.



Der Mechatroniker Paul Motzki richtet am ZeMA einen Test mit einem vielversprechenden Bestandteil des intelligenten Implantats ein: haardünne Drähte.



Die feinen Drähte aus Nickel-Titan haben ein Formgedächtnis. Sie werden gebündelt und zu mehreren Bündeln in einem dicken, starken Strang zusammengefasst. Schickt man Strom durch die einzelnen Bündel, verbiegt sich der Strang in jede gewünschte Richtung – so beweglich wie ein Elefantennüssel. Ohne Stromimpulse nimmt der Strang wieder die ursprüngliche Form an.

Zahlen und Fakten



Ein Teil des Teams, das die intelligenten Implantate entwickelt (v. l.):
Aynur Gökten (Studienschwester an der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes)
Kerstin Wickert (Lehrstuhl für Technische Mechanik an der Universität des Saarlandes)
Prof. Dr. Tim Pohlemann (Projektiator und Direktor der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes)
Dr. Tim Dahmen (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Saarbrücken)
PD Dr. Marcel Orth (Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes)
Annchristin Uhl (Masterstudentin am Lehrstuhl für Technische Mechanik an der Universität des Saarlandes)
Dr. Michael Roland (Lehrstuhl für Technische Mechanik an der Universität des Saarlandes)

Projekt

Das Universitätsklinikum des Saarlandes entwickelt auf der Basis von neuartigen Technologien aus der Materialtechnik intelligente Implantate, welche die Heilung von komplizierten Knochenbrüchen verbessern sollen, indem sie den Heilungsprozess überwachen und bei Bedarf autark steuern.

Unterstützung

Die Werner Siemens-Stiftung finanziert die Planung, die wissenschaftliche Erarbeitung und Entwicklung eines Prototyps des intelligenten Implantats sowie dessen Validierung im Rahmen von Tierversuchen.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung

8 Mio. Euro für 6 Jahre

Projektdauer

2019–2025

Projektleitung

Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes, Deutschland: PD Dr. Marcel Orth, Prof. Tim Pohlemann, Prof. Tina Histing, Dr. Mika Rollmann, Dr. Johannes Braun

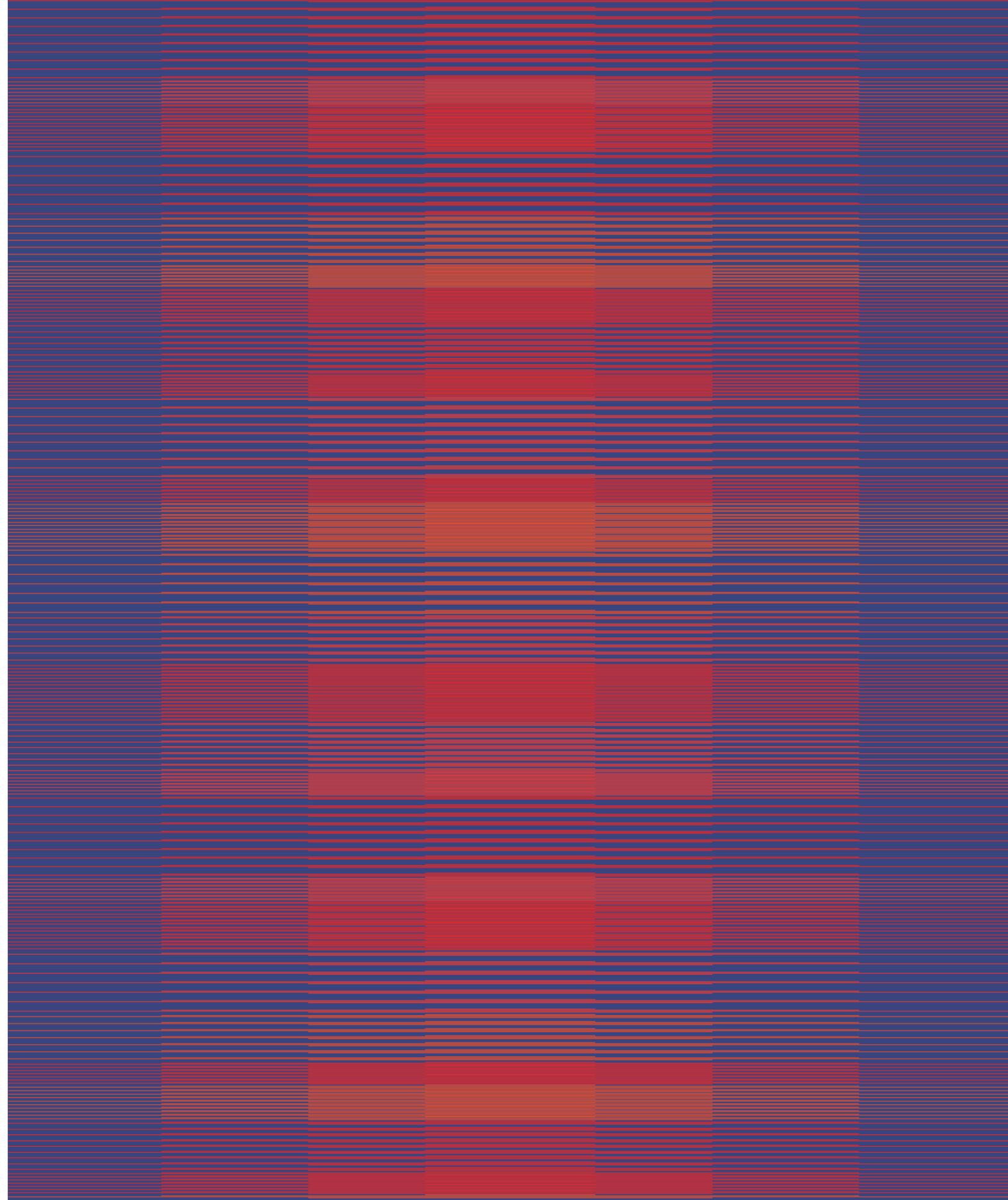
Projektpartner

Universität des Saarlandes, Lehrstuhl für Technische Mechanik: Prof. Stefan Diebels, Dr. Michael Roland; Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA): Prof. Stefan Seelecke, Dr. Paul Motzki; Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI): Prof. Philipp Slusalleck, Dr. Tim Dahmen

sensorisch korrigierend individuell

Innovation

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt die Entwicklung intelligenter Implantate, die bei Knochenbrüchen eingesetzt werden können, um die Heilung zu überwachen und wenn nötig positiv zu beeinflussen. Dadurch verringert sich die Gefahr von Komplikationen, und die Behandlung von Frakturen wird sicherer, individueller und kostengünstiger.



Elektrifizierende Differenzen

Suche nach optimalen thermoelektrischen Materialien am IST Austria



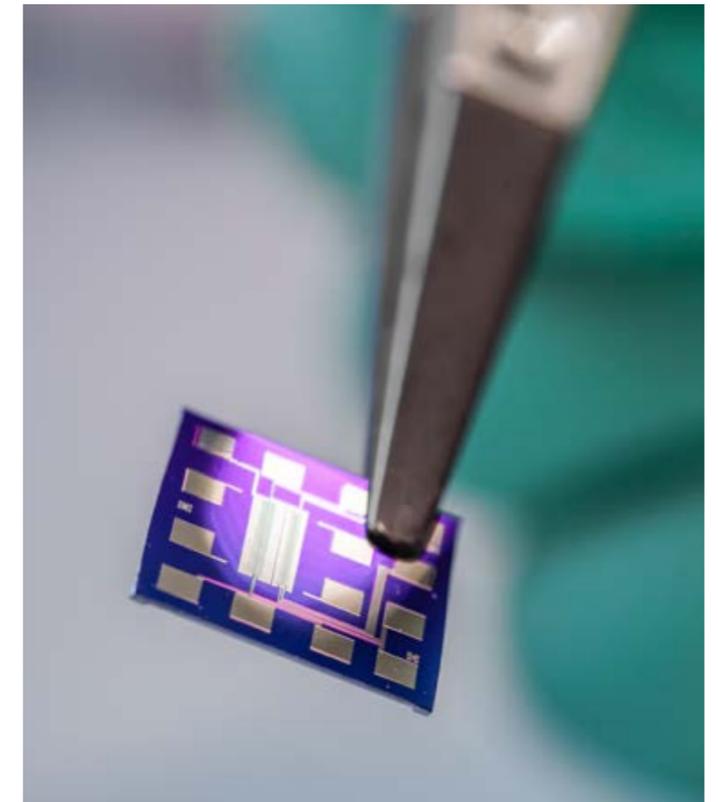
Wer früher «nach Gugging» ging, tat es nicht freiwillig. Sondern weil er in die 1885 gegründete Landes-Irrenanstalt musste. Heute ist alles anders. Am geschichtsträchtigen Ort nahe bei Wien wird seit elf Jahren ein topmoderner Forschungscampus entwickelt. Das Institute of Science and Technology Austria ist aktuell Österreichs erfolgreichstes Forschungsinstitut und zieht brillante Köpfe aus aller Welt an.

Wissensdurstig und innovationshungrig

Das Institute of Science and Technology Austria (IST Austria) ist nicht nur jung, sondern auch innovativ – genau wie die Professorinnen und Professoren, die dort lehren und forschen. Das Auswahlverfahren ist anspruchsvoll. Wer es besteht, erhält alle Unterstützung, die nötig ist, um Grundlagenforschung auf Weltklasse-Niveau zu betreiben. So auch die Physikerin Dr. Maria Ibáñez, deren Suche nach thermoelektrischen Hochleistungsmaterialien am IST Austria seit September 2020 von der Werner Siemens-Stiftung finanziert wird.



Gemeinsames Mittagessen in der Mensa des IST Austria: Forschungsleiterin Maria Ibáñez und ihr Team.



Bereit für die Tests: neu entwickelte Nanomaterialien mit potenziell guten thermoelektrischen Eigenschaften.

Die Katalanin Maria Ibáñez ist spezialisiert auf Nanomaterialien. Mit ihrem Team sucht sie nach neuen Hochleistungsmaterialien, die aus Temperaturunterschieden Strom gewinnen können. Das physikalische Phänomen, dass zwischen zwei Temperaturniveaus eine elektrische Spannung entsteht und damit Strom fließen kann, ist seit bald 200 Jahren als Thermoelektrik bekannt. Allerdings wurden bisher noch keine Materialien gefunden, die den thermoelektrischen Effekt effizient und kostengünstig erzielen würden. Der Wirkungsgrad bei der Energieumwandlung ist mit rund 6 Prozent zu gering, um die Thermoelektrik im Alltag als Stromquelle konkurrenzfähig zu machen. Maria Ibáñez will das ändern. Die Physikerin sucht im Nanobereich nach neuen, effizienten und kostengünstigen thermoelektrischen Materialien.

Forschung und Familie

Seit zwei Jahren forscht und lehrt Maria Ibáñez als Assistenzprofessorin am IST Austria nördlich von Wien – auf dem topmodernen Campus, der neben dem umgebauten Zentralgebäude der

ehemaligen Irrenanstalt Gugging errichtet worden ist. Maria Ibáñez ist aber nicht nur eine hoch motivierte Wissenschaftlerin, sondern auch Mutter. Ihr Sohn wird im IST-eigenen Kinderhort auf dem Campus betreut, während sie ihrer anspruchsvollen interdisziplinären Forschung nachgeht. Am IST Austria ist alles darauf ausgerichtet, dass die Forschenden beides haben können: Familie und Karriere. Um 17 Uhr holt Maria Ibáñez ihren Sohn ab und fährt mit ihm eine halbe Stunde lang mit dem Fahrrad nach Hause. Der Abend gehört ihrem Mann und ihrem Kind.

Mitdenken und mitbestimmen

«Mich interessiert, wie Dinge funktionieren», sagt Maria Ibáñez. Diese Grundhaltung kommt der promovierten Physikerin seit zwei Jahren auch ganz praktisch zugute. Denn seit ihrer Anstellung 2018 als Assistenzprofessorin mit eigener Forschungsgruppe am IST Austria denkt und entscheidet Maria Ibáñez mit, wie das neue Chemielabor am Campus gebaut und ausgestattet wird. Sie hat nicht einfach nur bestimmt, welche Analysegeräte sie für

ihre Forschung braucht – insbesondere das Röntgen-Diffraktometer und das Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometer. Sondern sie hat sich auch überlegt, welche Lüftung, Stromversorgung, Lichtführung, Gas- und Wasserleitungen im neuen Chemielabor eingebaut werden sollen, und zusammen mit der Bauleitung nach den besten Lösungen gesucht. Ziemlich ungewöhnlich für die Inhaberin einer Assistenzprofessur. «Die ganze Bauphase war sehr intensiv», gibt Ibáñez denn auch zu, «aber das hohe Engagement für das neue Labor und die Verantwortung, die man mir übertragen hat, haben mich auch sehr mit dem IST verbunden.»

2021 wird «ihr» neues Chemielabor fertiggebaut sein. Nicht nur Ibáñez' eigene Forschungsgruppe wird dorthin umziehen, auch für andere Gruppen reicht der Platz und die Infrastruktur. In ihrem massgeschneiderten Laborbereich wird sie dann richtig loslegen können mit der Suche nach neuen thermoelektrischen Nanomaterialien.

Thermoelektrik – vom All in den Alltag

Die Physikerin Maria Ibáñez verfolgt ein ehrgeiziges Ziel: Sie will in acht Jahren neue thermoelektrische Materialien finden oder entwickeln, die viel besser als bisherige Materialien elektrischen Strom aus Temperaturunterschieden erzeugen.

Die Thermoelektrizität ist ein altbekanntes physikalisches Phänomen. Sie funktioniert nach den folgenden Grundprinzipien: Ist die eine Seite eines Materials warm und die andere kalt, kommt es zu einer Ansammlung von Elektronen auf der kälteren Seite – zu einer elektrischen Spannung. Wird das Material an einen Schaltkreis angeschlossen, können die Elektronen fließen – dieser Elektronenfluss ist per definitionem elektrischer Strom. Die Energie – die sogenannte Thermokraft –, die vom thermoelektrischen Material generiert wird und für das Betreiben elektrischer Geräte wie beispielsweise einer Glühlampe genutzt werden kann, ist nur sehr gering. Sie misst nur wenige Mikrovolt pro Kelvin Temperaturunterschied. So kann der «thermoelektrische Effekt», auch 200 Jahre nachdem er vom deutschen Physiker Thomas Johann Seebeck zum ersten Mal beschrieben worden ist, nicht im grossen Stil für die Produktion von Strom genutzt werden. Die bisher verwendeten thermoelektrischen Materialien sind schlicht zu wenig effizient.

Aus Nanopartikeln werden Bausteine

Die Physikerin Maria Ibáñez und ihr interdisziplinär zusammengesetztes Team suchen nun nach neuen, künstlich hergestellten thermoelektrischen Materialien, die mit einem Minimum an Temperaturunterschied ein Maximum an Strom erzeugen können. Dazu verbinden die Forscherinnen und Forscher Molekularkomplexe und Nanopartikel zu Bausteinen, aus denen sie dann neuartige thermoelektrische Materialien, sogenannte Metamaterialien, herstellen, und diese auf ihre thermoelektrischen Eigenschaften testen.



Die Struktur thermoelektrischer Materialkandidaten erkennen: Das Röntgen-Diffraktometer macht es möglich.

Von heiss bis kalt

Wärme kann mithilfe thermoelektrischer Materialien theoretisch immer und überall, wo Temperaturunterschiede bestehen, in Elektrizität umgewandelt werden: in Automotoren, bei Fenstern, in Wasserleitungen, am menschlichen Körper, bei Laptops oder Ladegeräten. «Wir könnten ganz viele Temperaturunterschiede in ganz verschiedenen Lebensbereichen nutzen, um daraus Elektrizität zu machen, wenn wir effiziente und kostengünstige thermoelektrische Materialien besässen», erklärt die Physikerin. Doch wird sich höchstwahrscheinlich für jede Anwendung ein anderes thermoelektrisches Material als optimal erweisen. Bei einer Anwendung an Kleidungsstücken zum Beispiel bräuchte es ein thermoelektrisches Material, das bei Zimmertemperatur am besten funktioniert; in Automotoren hingegen müsste das gesuchte Material bei rund 500 Grad Celsius zur Höchstform auflaufen. «Wir interessieren uns für alle Temperaturbereiche», sagt Ibáñez.

Zuverlässig und wartungsfrei

Wenn Strom fliesst, verpufft bisher immer viel Energie in Form von Wärme – man denke nur an Netzteile, Smartphones oder Computer, die in Betrieb warm werden. Aber auch der Energieverlust bei der Erzeugung von Elektrizität ist enorm: Mehr als 60 Prozent aller in Europa erzeugten Energie geht als Abwärme an die Umwelt verloren. «Wenn wir ein Material fänden, das diese Abwärme auffängt und mittels thermoelektrischer Generatoren wieder in Strom umwandelt, könnten wir aus praktisch allem Energie gewinnen», überlegt Ibáñez. «Das ist unser grosser Traum – aber er ist etwas unrealistisch. Realistischer ist es, kleinere elektrische

Bestandteile wie Fernbedienungen oder Temperaturkontrollen mit Thermoelektrik laufen zu lassen.» In der Informatik könnten so Computer oder andere elektrische Geräte mithilfe der Thermoelektrik gekühlt werden. Auch in der Landwirtschaft sieht Ibáñez Anwendungsmöglichkeiten: Feuchtigkeitssensoren im Boden könnten den Bauern melden, wann ein Feld bewässert werden muss. «Der Vorteil von Thermoelektrik besteht darin, dass sie sehr zuverlässig und betriebsicher funktioniert. Man muss nichts aufladen, benötigt kein Licht, keinen Wind und keinen Unterhalt – nichts, ausser einer Temperaturdifferenz. Thermoelektrik liefert zwar keine riesigen Strommengen, aber sie ist konstant und absolut geräuschlos; ausserdem ist sie umkehrbar, das heisst: Dasselbe Gerät kann sowohl zum Kühlen als auch zur Stromerzeugung genutzt werden.»

Thermoelektrik im Weltall

Als Beispiele, dass Thermoelektrik über viele Jahre wartungsfrei funktioniert, erwähnt Maria Ibáñez bestehende Anwendungen in der Raumfahrt. So senden die Raumsonden Voyager 1 und 2, die Mitte der 1970er-Jahre losflogen und mittlerweile unser Sonnensystem hinter sich gelassen haben, weiterhin Daten aus ihrer interstellaren Umgebung. Das thermoelektrische Gerät, das die Energie erzeugt, funktioniert nun schon seit mehr als vierzig Jahren, ohne Wartung oder Zutun von aussen.

Neue Nanomaterialien

Die neuen, optimierten thermoelektrischen Materialien stellt Ibáñez aus Materialvorstufen im Nanobereich her.



Welche thermoelektrischen Eigenschaften haben die kreierte Nanomaterialien? Die Beantwortung dieser Frage erfordert vorerst noch aufwändige Handarbeit im Labor. Sehr viel schneller wird es mit der Hochdurchsatz-Testinfrastruktur im neuen Labor gehen.



Unter dem Elektronenmikroskop werden Nanopartikel zu grossen Gebilden, die sich gut analysieren lassen.



Temperaturtest: Wie verhält sich das neue Nanomaterial, wenn es stark erwärmt beziehungsweise abgekühlt wird?

Ein Nanometer entspricht einem Milliardstel Meter. Nanopartikel sind also unvorstellbar winzig – «etwa so klein wie ein Millionstel eines Haardurchmessers», erklärt Maria Ibáñez. Sie können auf natürlichem Weg entstehen, etwa bei einem Vulkanausbruch oder Waldbrand. In der Forschung werden Nanopartikel im Labor hergestellt, und zwar mit ausserordentlicher Präzision und Kontrolle. Ibáñez und ihr Team synthetisieren sie aus Metallen oder Halbleitern und aus Kombinationen davon. Grösse, Oberfläche, Komposition und vieles mehr können variiert werden, was zu neuen Eigenschaften der neuen Nanopartikel führt. «Ihre chemischen und physikalischen Eigenschaften ändern sich. Zum Beispiel die chemische Reaktionsfähigkeit, die elektrische Leitfähigkeit oder die thermodynamischen Eigenschaften», erklärt Ibáñez.

Die Nanopartikel aus dem Labor lassen sich zu grösseren Kristallen formieren, die oft völlig andere Eigenschaften aufweisen als die Ausgangspartikel. «Wir benutzen die von uns geschaffenen Nanokristalle als Bausteine», sagt Ibáñez, «sie lassen sich wie Legosteine auf unzählige Arten kombinieren und variieren.» So tasten sich die Forschenden mithilfe verschiedener chemischer und physikalischer Verfahren an neue Materialien mit möglichst guten thermoelektrischen Eigenschaften heran.

Hochdurchsatz-Analysen

Welche Eigenschaften haben die künstlich hergestellten Nanokristalle? Eignen sie sich als thermoelektrisches Material? Funktionieren sie besser bei hohen Temperaturen oder bei tiefen? Um die Nanomaterialien genau zu charakte-

risieren, werden sie durchgetestet. Bisher geschah das in teils monatelanger Handarbeit im Labor. «Um diesen Prozess zu beschleunigen, entwickeln wir derzeit eine Hochdurchsatz-Testinfrastruktur», sagt Ibáñez. In ihrem neuen Chemielabor, in das sie 2021 umziehen kann, wird die sogenannte High Throughput Experimentation (HTE) möglich sein. Ibáñez' Forschungsgruppe wird damit zu den paar wenigen Gruppen weltweit aufschliessen, die computergestützte Hochdurchsatzverfahren nutzen, um thermoelektrische Hochleistungsmaterialien zu identifizieren.

HTE wird es den Forschenden ermöglichen, grosse Mengen an Ausgangsmaterialien parallel auf verschiedene Parameter hin zu testen. «Das wird die Produktion der verschiedensten Nanomaterialien in unterschiedlichen Zuständen sehr beschleunigen», sagt Ibáñez. Sie sucht deshalb im nächsten halben Jahr einen Ingenieur, mit dem sie zusammen das HTE-System designen kann. Ibáñez' Forschungsprojekt lebt, wie es am IST Austria üblich ist, von der interdisziplinären Zusammenarbeit.

Mein Erfolg ist dein Erfolg

Maria Ibáñez hat nicht einfach Glück gehabt, als sie im Jahr 2018 aus 1481 Mitbewerbenden ausgewählt und als Assistenzprofessorin am IST Austria angestellt wurde. Vielmehr verkörpert sie das, wofür die junge und erfolgreiche Forschungsinstitution steht: Sie betreibt multidisziplinäre Spitzenforschung – und sie tut es wertschätzend, kooperativ, integer und verantwortungsvoll.



Die Physikerin Maria Ibáñez leitet das «Werner Siemens-Zentrum zur Erforschung thermoelektrischer Materialien» am IST Austria.



Kooperation statt Konkurrenz – eine Wand voller wissenschaftlicher Publikationen zeigt, wie erfolgreich die Forschenden am IST Austria kooperieren.

Maria Ibáñez hat keine Scheu, ihr «Gärtchen» zu verlassen. Schon während ihres Studiums der Physik an der Universität Barcelona machte sie einen Abstecher ans Institute for Nanoscience and Cryogenics in Frankreich. Während ihrer Doktorarbeit ging sie als Visiting-PhD-Studentin jedes Jahr an eine andere Hochschule in den USA. So lernte sie die University of Chicago in Illinois kennen, das Caltech in Pasadena, Kalifornien, die Cornell University in Ithaca, New York, und die Northwestern University in Evanston, Illinois.

Anfänglich drehte sich ihre Doktorarbeit um Solarzellen; doch weil sie es dabei mit einer Materialgruppe zu tun hatte, die auch für die Thermoelektrik interessant ist, veränderte sich ihr Fokus nach und nach in diese Richtung. 2013 schloss sie ihre Doktorarbeit über die Synthese neuer Nanomaterialien aus Nanokristallen ab. Dafür erhielt sie die höchste Auszeichnung der Universität Barcelona, den Extraordinary Award. Anschliessend forschte sie zuerst am IREC (Catalonia Institute for Energy Research) in Barcelona und ab 2014 an der ETH Zürich in der Schweiz im Bereich Oberflächenchemie von Nanokristallen. Die Oberfläche von Nanopartikeln erwies sich bei der Suche nach effizienten thermoelektrischen Materialien als sehr wichtig.

Ende 2016 bewarb sie sich am IST Austria mit einem Forschungsprojekt zu den grundlegenden Transporteigenschaften von Elektronen und Phononen in Nanomaterialien – diese Expertise ist sehr wichtig für das Design neuartiger thermoelektrischer Materialien. Ihr Proposal stach aus 1481 Mitbewerbungen heraus. Sie durchlief einen mehrstufigen Bewerbungsprozess inklusive zweitägigem Assessment – und wurde Ende 2018 als Assistenzprofessorin

mit «Tenure Track» angestellt. Im gleichen Jahr zog sie mit ihrer Familie von Zürich nach Klosterneuburg, das dreissig Fahrradminuten vom IST Austria entfernt liegt. «Ich bin in einem kleinen Dorf in Katalonien aufgewachsen, ich hätte nie in Wien wohnen wollen», erzählt die Physikerin.

Freundschaft statt Konkurrenz

Als Assistenzprofessorin gehört Maria Ibáñez zu den mittlerweile 57 Gruppenleitern des IST Austria. Bewährt sie sich in den kommenden Jahren, erhält sie eine unbefristete Professur. Doch anders als bei «normalen» Universitäten muss sie am IST Austria nicht gegen ihre Physikkolleginnen und -kollegen um eine einzige oder ein paar wenige offene Stellen kämpfen. Das IST Austria setzt auf Kooperation statt auf Konkurrenz. Die Kommission hat sie als Assistenzprofessorin ausgewählt, weil man an sie glaubt und davon ausgeht, dass sie Erfolg haben wird. Um ihr den Kopf freizuhalten, unterstützt das IST Austria sie mit einem Expertenteam in Verwaltungsaufgaben wie Finanzen, Beschaffungsprozesse, Recruiting und Reporting. Alles ist darauf ausgelegt, dass die Assistenzprofessorin erfolgreich forschen und zur Professorin befördert werden kann.

Diese Grundhaltung am IST Austria bewirkt, dass die verschiedenen Forschungsgruppen ohne Vorbehalte zusammenarbeiten können. «Es ist wirklich so, dass die Kollegen am IST Freunde sind und wir uns gegenseitig unterstützen, indem wir wissenschaftliche Publikationen oder Drittmittelanträge gegenseitig lesen und konstruktives Feedback geben», erzählt Ibáñez. Und die stellvertretende Geschäftsführerin des IST Austria Barbara Abraham



Hier werden sie 2021 durchstarten: Das Team von Maria Ibáñez im Rohbau des neuen Labors am IST Austria.

ergänzt: «Unsere Assistenzprofessorinnen und -professoren messen sich in ihrer Disziplin nicht innerhalb des IST Austria, sondern mit der weltweiten Science Community.» Wenn sie ihre Forschungsergebnisse in renommierten wissenschaftlichen Zeitschriften wie «Nature» publizieren und sich einen Namen auf ihrem Gebiet machen, bedeutet dieser Erfolg auch einen Zuwachs an Renommee für das IST Austria.

Person vor Fach

Das IST Austria möchte weiter wachsen. In welchem MINT-Bereich das Wachstum erfolgt – ob in Physik, Mathematik, Informatik oder Biowissenschaften –, ist für das junge Forschungsinstitut zweitrangig. Da es nicht auf historisch gewachsene Strukturen Rücksicht nehmen muss, leistet es sich eine eigene Wachstumsstrategie: Person vor Fach. Das IST Austria setzt auf vielversprechende Forscherpersönlichkeiten, die die Werte des IST Austria leben, die interdisziplinär und kooperativ in flachen Hierarchien denken und forschen. So wollte das IST Austria in erster Linie die Spitzenforscherin Maria Ibáñez ins Boot holen – und erhielt als schönen Nebeneffekt die Möglichkeit, den Forschungszweig Thermoelektrik neu zu etablieren.

Weltweiter Erfolg

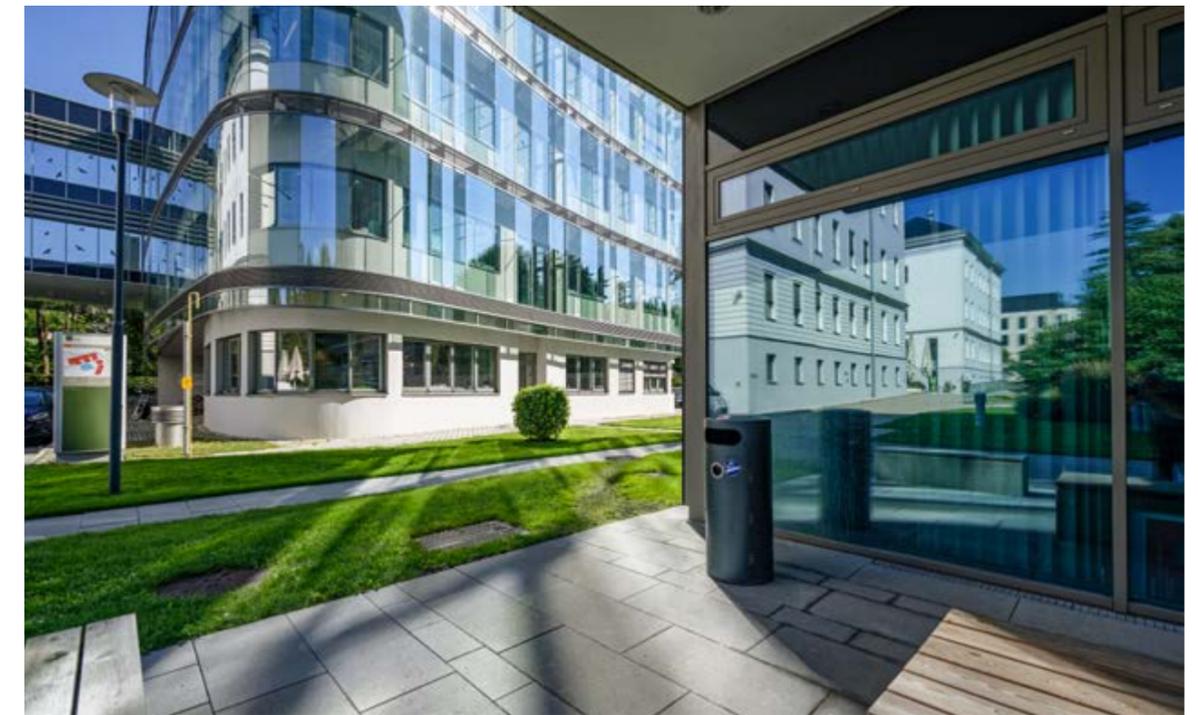
Das IST Austria hat Erfolg. Beim Europäischen Forschungsrat (ERC: European Research Council) nimmt das Forschungsinstitut mit einer Erfolgsquote von fast fünfzig Prozent eine Spitzenposition im internationalen Ranking ein. Knapp 80 Millionen Euro Fördergelder erhielt das IST Austria bisher

vom ERC. Weshalb diese hohe Erfolgsrate des vergleichsweise kleinen IST Austria? Dazu Barbara Abraham: «Der ERC und das IST Austria sind etwa gleich jung und haben ähnliche Vorstellungen, wie man erfolgreiche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler rekrutiert.»

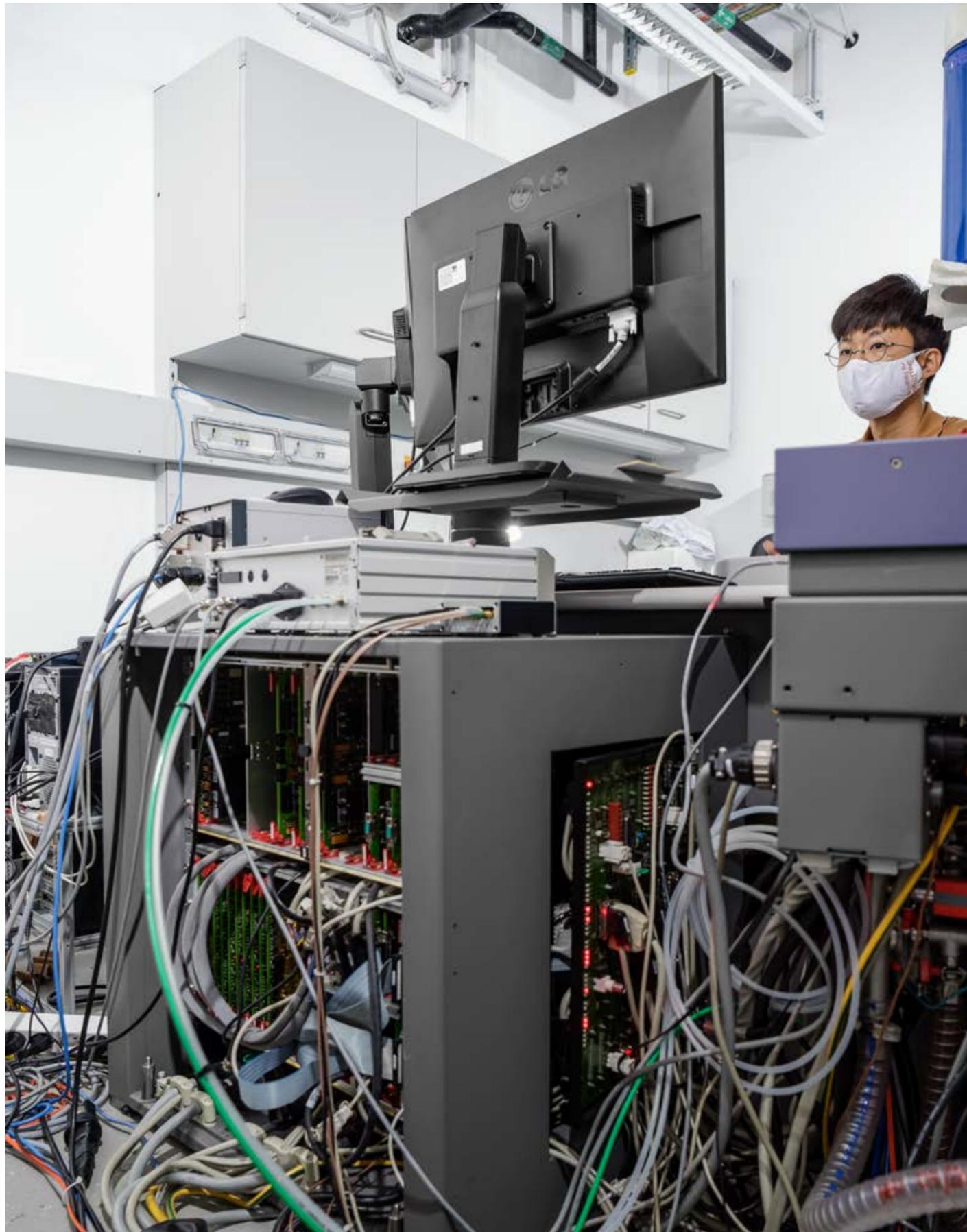
In den elf Jahren seines Bestehens hat das IST Austria insgesamt Drittmittel in der Höhe von knapp 160 Millionen Euro eingeworben. Aber nicht nur die finanziellen Zuwendungen steigen, auch die Forschungsstärke ist top: Im normalisierten Ranking der renommierten Fachzeitschrift «Nature» belegte das IST Austria im Jahr 2019 den hervorragenden dritten Platz. Das bedeutet, dass das IST Austria im Verhältnis zu seiner Grösse weltweit am dritthäufigsten Forschungsartikel in den wichtigsten Fachzeitschriften publizieren konnte. Es lag damit vor der altherwürdigen ETH Zürich oder dem berühmten MIT (Massachusetts Institute of Technology).

«Ich bin zwar kein Fan von Rankings», sagt Maria Ibáñez, «aber für das IST Austria ist dieser dritte Platz sehr wichtig. Lange Zeit war das IST Austria international kaum bekannt – das Ranking hat ihm zu Sichtbarkeit verholfen.»

Jung und erfolgreich: Die Forschungsgruppen am IST Austria – wie jene um die Physikerin Maria Ibáñez – spielen in der ersten Liga mit.



In den modernen Glasfassaden auf dem Areal des IST Austria spiegeln sich die historischen Gebäude aus dem Jahr 1885.



Zahlen und Fakten

Projekt

Am IST Austria suchen die Physikerin Maria Ibáñez und ihre Forschungsgruppe nach hocheffizienten und kostengünstigen thermoelektrischen Materialien, um Temperaturunterschiede in Strom umzuwandeln. Das Ziel ist eine breitere Anwendung von Thermoelektrik, zum Beispiel in Generatoren und Kühlgeräten.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung

8 Mio. Euro, verteilt über 8 Jahre

Projektdauer

Juli 2020–Juni 2028

Projektleitung

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

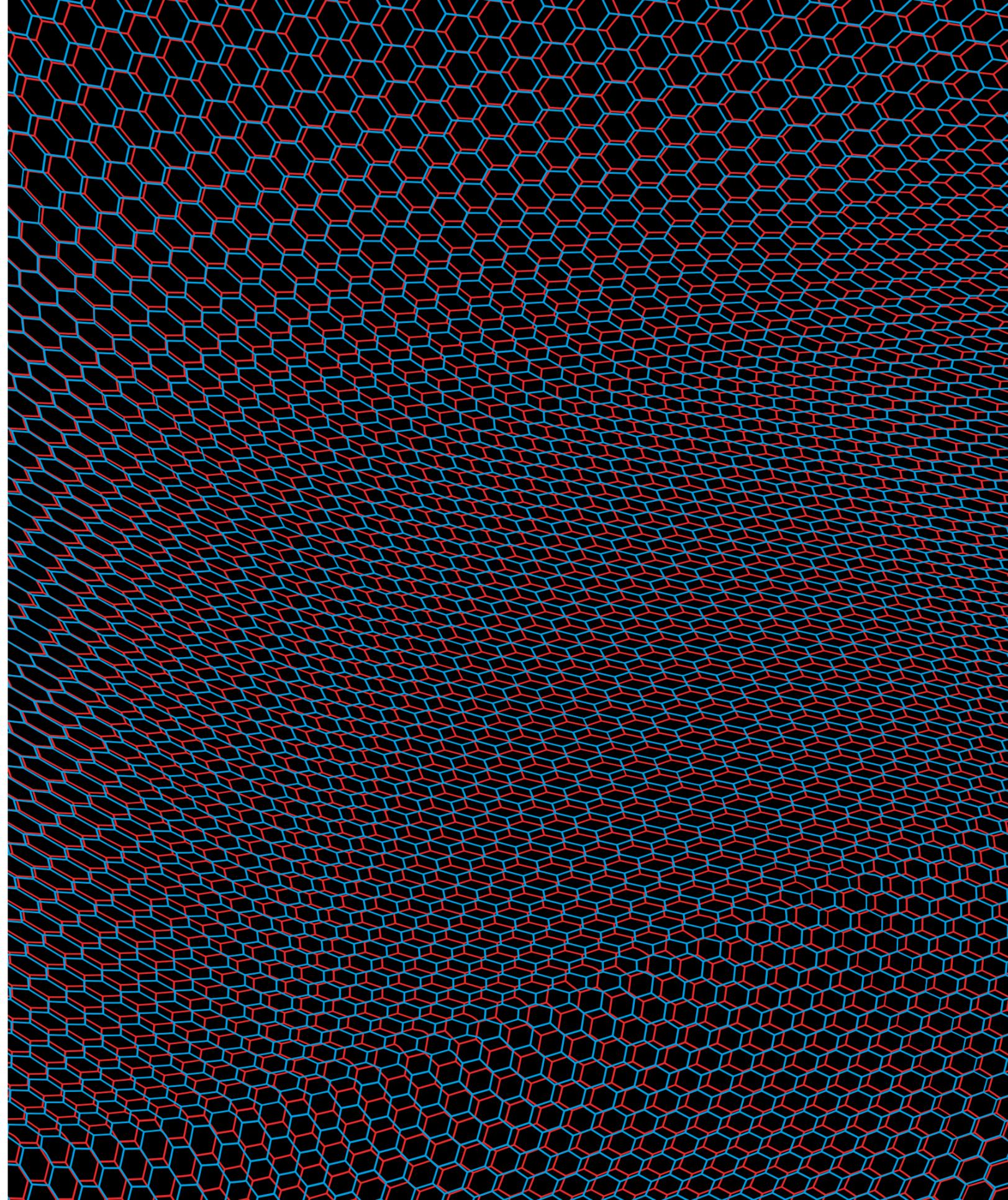
Unterstützung

Die Werner Siemens-Stiftung finanziert das «Werner Siemens-Zentrum zur Erforschung thermoelektrischer Materialien» am IST Austria. Mittels Hochdurchsatz-Screening von Materialien, maschinellem Lernen, Data-Mining und atomistischen Simulationen soll die Suche nach geeigneten thermoelektrischen Materialien beschleunigt werden.

energieeffizient wartungsfrei raumfahrterprobt

Innovation

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt die Suche nach hocheffizienten und kostengünstigen thermoelektrischen Materialien, weil diese das Potenzial besitzen, bereits vorhandene Energie für zahlreiche Anwendungen im Alltag nutzbar zu machen – unter anderem für den Betrieb von Sensoren oder zum Kühlen von Geräten.





Deana Mohr, Biologin und MedTechEntrepreneur-Fellow an der Universität Zürich, fühlt sich durch das Förderprogramm der Werner Siemens-Stiftung gut auf ihre neue Rolle als CEO eines eigenen Unternehmens vorbereitet.

Bereit zum Durchstarten

Update zum Förderprogramm MedTechEntrepreneur-Fellowships an der Universität Zürich

Mit den MedTechEntrepreneur-Fellowships unterstützt die Universität Zürich ihre Nachwuchsforschenden bei der Gründung eines Unternehmens – damit medizinische Innovationen baldmöglichst in die Praxis gelangen. Zum Beispiel eine neuartige Therapie gegen Inkontinenz.

Deana Mohr hat einen Seitenwechsel vollzogen. Die doktorierte Biologin hat das Labor mit dem Sitzungszimmer getauscht. Und sie bereut es nicht: «Ich kann in eine neue Welt eintauchen. Mein Feuer für das Unternehmertum ist entfacht», erzählt sie. Dr. Deana Mohr ist CEO geworden. Im Oktober 2020 hat sie mit Dr. Jenny Ann Prange, Dr. Steve Kappenthuler und Professor Daniel Eberli zusammen «MUVON Therapeutics» gegründet. Das Unternehmen entwickelt eine neuartige Therapie gegen die sogenannte Belastungsinkontinenz. Bei dieser Form der Inkontinenz verliert eine Person Urin, wenn sie beispielsweise niesen oder lachen muss. Allein in der Schweiz sind schätzungsweise 400 000 Menschen davon betroffen, vor allem Frauen nach einer Geburt oder bei hormonellen Veränderungen. Schuld ist ein geschwächter Schliessmuskel der Harnblase. MUVON Therapeutics will den Betroffenen Muskelstammzellen implantieren, die sich zu Muskelfasern entwickeln und die Harnblase wieder schliessen können. Anfang 2020 hat das Forschungsteam die erste klinische Studie am Universitätsspital Zürich gestartet.

Deana Mohr koordiniert das ganze Projekt. Seit neun Jahren beschäftigt sie sich bereits mit dem neuartigen Therapieansatz. In ihrer Dissertation konnte sie zeigen, dass das Verfahren im Labor und im Tierversuch funktioniert und sicher ist. Anschliessend warb die Forschungsgruppe der

Universität Zürich einen EU-Grant von sechs Millionen Euro ein. «Aber uns war schnell klar: Die Technologie wird nur bis zu den Patientinnen und Patienten gelangen, wenn wir ein Unternehmen gründen und Investoren finden», sagt Mohr. Nur schon die nächste klinische Studie wird rund 15 bis 20 Millionen Franken kosten.

Perfekte Mischung

So begann Deana Mohr, sich Wissen zur Gründung eines Unternehmens anzueignen und Kurse in Entrepreneurship zu besuchen. Kurz darauf starteten die MedTechEntrepreneur-Fellowships, welche die Universität Zürich (UZH) dank der Finanzierung durch die Werner Siemens-Stiftung 2018 ins Leben rufen konnte. Deana Mohr bewarb sich erfolgreich um eines der Fellowships. Dieses dauert 18 Monate und bietet ihr die Gelegenheit, ihre Kenntnisse im Rahmen von Kursen und im Austausch mit anderen Fellows zu vertiefen. So lernt sie etwa, Gespräche mit Investoren zu führen, Businesspläne zu erstellen und sich ein Netzwerk von unterstützenden Personen für das Projekt aufzubauen. «Faszinierend ist für mich vor allem die Bandbreite an Themen, mit denen ich mich jetzt beschäftigen kann – von der Personalsuche über die Teamführung bis hin zu regulatorischen Fragen», erzählt sie. Ausserdem darf ihr Team dank des Fellowship das «UZH Incubator Lab» nutzen. Das Labor wurde speziell für angehende Biotech- und Medtech-Spin-offs ausgestattet – ebenfalls mit Mitteln der Werner Siemens-Stiftung.

Mit dem Fellowship erhalten die ausgewählten Projekte zudem eine Finanzierung von 150 000 Franken. Damit konnte das Team von Deana Mohr eine zusätzliche Person anstellen. «Finanzielle Unterstützung kombiniert mit Wissensvermittlung: Diese Mischung ist bei den MedTech-Entrepreneur-Fellowships der UZH perfekt – und selten zu finden», sagt Deana Mohr.

Frauenanteil steigt

Die MedTechEntrepreneur-Fellowships werden zweimal im Jahr durch eine Jury mit Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Industrie vergeben. Deana Mohr ist eine von elf Personen, die bis Sommer 2020 als MedTechEntrepreneur-Fellow ausgewählt wurden. 23 Forscherinnen und Forscher haben sich bis zu diesem Zeitpunkt darum beworben. «Beson-

ders erfreulich ist, dass immer mehr Frauen Projekte einreichen», sagt Professor Michael Schaepman, der das Projekt an der UZH initiiert hat und inzwischen zum Rektor gewählt wurde.

Zugenommen hat auch die Qualität der eingereichten Projekte – unter anderem dank des Feedbacks, das die Jury zu Bewerbungen mit spannenden, aber noch zu wenig ausgereiften Ansätzen gibt. «Die Rückmeldungen der Jury erlauben es den Bewerbenden, ihre Anträge für den zweiten Versuch massgeblich zu verbessern», sagt Michael Schaepman. Für die Qualität der ausgewählten Projekte spricht auch, dass diese bisher rund eine Million Schweizer Franken an weiteren Drittmitteln einwerben konnten. Zudem haben vier der bisher unterstützten Projekte bereits zur Gründung eines Spin-offs geführt. «Für viele der Nachwuchsforschenden sind unsere Fellowships das entscheidende Sprungbrett für ihre Karriere als Unternehmerin oder Unternehmer», ist Schaepman überzeugt.

Gut vorbereitet für die neue Rolle Deana Mohr hat den Karrieresprung wohlüberlegt gemacht: «Ich fühle mich auf meine Rolle als CEO unseres Unternehmens gut vorbereitet.» Sie ist überzeugt, dass sie an einem Projekt mitarbeitet, das gesellschaftlich relevant ist: «Schätzungsweise 150 Millionen Frauen weltweit leiden an Belastungsinkontinenz. Und die Dunkelziffer ist wahrscheinlich hoch, weil das Leiden oft tabuisiert wird.» Wenn alles gut läuft, werden die klinischen Studien zur Stammzellen-Therapie im Jahr 2026 abgeschlossen sein. Bis dahin gilt es, MUVON Therapeutics so weit zu etablieren, dass der Markteintritt erfolgen kann.

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

Projektleitung
Prof. Dr. Michael Schaepman, Rektor
Universität Zürich (UZH), Schweiz

Projektdauer
2018–2027

Botschafterin der Meere



Energetisch aufgerüstet und finanziell abgesichert: die Forschungsjacht «Eugen Seibold».

Update zur segelnden Forschungsjacht «Eugen Seibold»

Kein anderes Forschungsschiff untersucht und analysiert die Meere so umweltfreundlich und elegant wie die Segeljacht «Eugen Seibold». So erstaunt es nicht, dass ihr die Herzen zufliegen, wo immer sie gesichtet wird. Dennoch wäre sie fast aus dem Report davongesegelt, ist doch ihre Unterstützung durch die Werner Siemens-Stiftung 2019 mit der ersten Forschungsreise zu Ende gegangen. Doch nun kommt es zu einer Fortsetzung: Die Werner Siemens-Stiftung übernimmt für zehn Jahre die Betriebskosten der «Eugen Seibold».

Die Crew der «Eugen Seibold» wollte eigentlich schon im Sommer 2019 den kompletten Atlantik vom tropischen Süden bis zum subpolaren Norden beproben. Doch nach den Expeditionen in die subtropischen Atlantik-Regionen von Lanzarote, Madeira und den Azoren sowie in den östlichen Nordatlantik musste das Team im darauffolgenden September zur Kenntnis nehmen: Für den rauen Nordatlantik war die elektrische Infrastruktur an Bord zu wenig abgesichert.

Vor allem die zentrale Batterie, die die Geräte an Bord mit Strom versorgt, gelangte ans Limit. Wäre sie bei einem Sturm komplett ausgefallen, hätte die Crew für die schnelle Heimkehr nur noch auf einen zweiten, mobilen Stromgenerator zurückgreifen können. «Das war zu unsicher», erzählt Professor Gerald Haug, der Erfinder der «Eugen Seibold» und Direktor der Abteilung Klimageochemie am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz. «Die Stürme im Nordatlantik können sehr ungemütlich sein.»

Höhere Betriebskosten

Doch damit nicht genug. Auf der «Eugen Seibold» sind die besten und

neuesten Messgeräte installiert – «die alle auch wunderbar funktionierten», betont Gerald Haug. «Trotzdem gehört es zum Forschungsalltag auf hoher See, dass ständig irgend-etwas kaputt geht.» So mussten die wissenschaftlichen Geräte und Einbauten nachgebessert, optimiert und neu kalibriert werden.

Die Erfahrungen aus dem ersten Jahr zeigten, dass die Betriebskosten der «Seibold» zu niedrig veranschlagt wurden. «Eine Reparatur kostet schnell einmal 20 000 Euro», so Haug. Das Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz musste 2019 für die Forschungsreisen, für wissenschaftliche Geräte und Nachbesserungen der Elektrik und Elektronik etwa drei Millionen Euro aufwenden. Es war absehbar, dass der Betrieb der «Seibold» in den kommenden Jahren ähnlich hoch ausfallen würde.

Deshalb hat die Stiftung «Forschungsschiff S/Y Eugen Seibold» um einen Nachtragskredit von drei Millionen Euro für den Betrieb der «Seibold» bei der Werner Siemens-Stiftung angefragt. Damit wären die planbaren Kosten, ein Budget für unvorherseh-

bare Kosten und der Betrieb der Forschungsjacht für die nächsten zehn Jahre gedeckt.

Ein Notfall der anderen Art

Die Generalüberholung der «Eugen Seibold» dauerte von September 2019 bis Februar 2020 und wurde in Bremerhaven und Kiel vorgenommen. Danach verfügte die Forschungsjacht über drei Möglichkeiten der Stromversorgung und war damit auch für eine notfallmäßige Heimkehr gerüstet, sollten bei der Nord-Süd-Beprobung des Atlantiks unerwartete Probleme auftreten.

Niemand hatte jedoch mit einer Pandemie gerechnet. Ab März 2020 zwang das neuartige Coronavirus die Menschen in die Pause. Die Häfen schlossen. Auch die «Seibold» musste im Hafen bleiben. Bis Ende Juni 2020. Erst dann konnten Crew und Wissenschaftler (nach negativen Coronatests) den geplanten Transekt vom subpolaren Nordatlantik bis zum äquatorialen Atlantik in Angriff nehmen. Von Bremerhaven aus steuerten sie die «Seibold» durch die Nordsee zu den Färöer-Inseln, weiter

nach Island und bis an den Rand des Arktischen Ozeans.

Neben dem Projektleiter und Geologen Ralf Schiebel haben die Meeresbiologinnen Hedy Aardema und Maria Calleja, der Meeres-Chemiker Hans Slagter sowie die Atmosphärenforscher Antonis Dragoneas und Isabella Hrabe de Angelis wesentlich zum Erfolg der Expedition beigetragen. Etappenweise und im Schichtbetrieb nahmen sie Wasser- und Luftproben und unterzogen diese gleich an Bord einer umfassenden Analyse. Das Wasser untersuchten sie unter anderem mithilfe von zwei Massenspektrometern und einem Durchfluss-Zytometer auf wichtige Umweltparameter hin – wie Temperatur, Salzgehalt, Chlorophyll, Nährstoffe, Sauerstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, CO₂, Spurenmetalle und pH-Wert. In den Luftproben bestimmten sie den CO₂-Gehalt, Aerosole und andere Partikel. Auch werteten sie das Plankton der oberen Wassersäule aus.

Erfolgreiche Messungen

Die täglichen Messungen lieferten Terabytes an Daten. Diese wurden zuerst auf Festplatten an Bord gespeichert.

Ein eigens konzipierter Router integrierte die Daten der Messgeräte, des Navigationssystems und des Logbuchs in einem einheitlichen Protokoll – ein weltweit einzigartiges System, das schon während der Expedition eine einfache Verarbeitung erlaubte und die Verortung sämtlicher Daten ermöglichte.

Die Big Data schickte das wissenschaftliche Team zur weiteren Analyse auf die Server des Max-Planck-Instituts für Chemie in Mainz. Dort werden die Daten nun von den Arbeitsgruppen Mikropaläontologie, Geochemie, Organische Isotopen-Geochemie, Isotopen-Biogeochemie, Paläoklimatologie, Aerosol-Analyse und Mikroskopie sowie Aerosole und Luftqualität umfassend ausgewertet.

Bevor nördlich von Island die ersten Eisschollen aufgetaucht wären, wendeten die erfahrenen Skipper die «Eugen Seibold» und steuerten sie ab Ende Juli 2020 wieder etappenweise südwärts Richtung Äquator. Die Crew schaffte es, den nördlichen Teil des wissenschaftlichen Transekts trotz Stürmen und schwerer See – und unwägbarer Quarantäne-Bestimmungen

in den Häfen – bis ins Madeira-Becken erfolgreich zu beproben. Die Arbeiten auf der milderen südlichen Etappe bis in den tropischen Atlantik waren dann nur noch von Beschränkungen wegen Covid-19 terminiert.

Sympathieträgerin

Die segelnde Forschungsjacht kommt sehr gut an und hat mittlerweile einen hohen Bekanntheitsgrad in Deutschland, berichtet ihr Erfinder Gerald Haug. «Viele Bundesminister und selbst der Bundespräsident finden die Mission der «Eugen Seibold» sympathisch. Und wenn ich dann erzähle, wie unkompliziert die Idee der ökologischsten Forschungsjacht der Welt dank der Finanzierung der Werner Siemens-Stiftung realisiert werden konnte und dass in unserer überregulierten Welt nur ein Handschlag ihre Entstehung besiegelt hatte, dann staunen alle doch sehr und finden es einfach wunderbar.»

Dass die private Werner Siemens-Stiftung 3,5 Millionen Euro à fonds perdu für den Bau einer segelnden Forschungsjacht bewilligte, wird ihr hoch angerechnet. Gerald Haug: «Die



Ende August 2020 ist das Ziel erreicht: Die Forschenden haben das erste komplette Profil des Nordatlantiks erstellt.

Während die «Seibold» auf dem Atlantik gen Norden segelt, nimmt die bewährte Crew systematisch Wasser- und Luftproben.



Entstehungsgeschichte der «Seibold» zeigt, dass Philanthropen mutig Dinge anders machen und ein vielversprechendes Projekt zugunsten des Gemeinwohls rasch und ohne langwierigen juristischen Aufwand ermöglichen können.»

Komplettes Profil des Atlantiks

Ende August 2020 erreichte die Crew der «Eugen Seibold» ihr Ziel: Sie hatte das erste komplette Profil des Nordatlantiks erstellt. Gerald Haug: «Wir kennen nun den aktuellen biologischen, chemischen und physikalischen Zustand des Atlantiks vom arktischen Eiswasser bis zu den tropischen Wassermassen beim Äquator. Das gab es bis jetzt noch nie.»

Noch ist es zu früh für Schlussfolgerungen aus den erhobenen Daten. Doch ein paar Vermutungen haben sich bereits mit der ersten grossen Forschungsreise der «Seibold» erhärtet. So scheinen Plankton-Gemeinschaften polwärts zu «wandern», was an Verschiebungen der Strömungssysteme liegen könnte und an temperaturgebundenen Grössen wie dem Sauerstoffgehalt des Meerwassers. Dadurch

ändert sich nach und nach das marine Nahrungsnetz – was letztendlich auch die Fischbestände tangiert, und damit die Nahrungsgrundlage eines Grossteils der Menschheit.

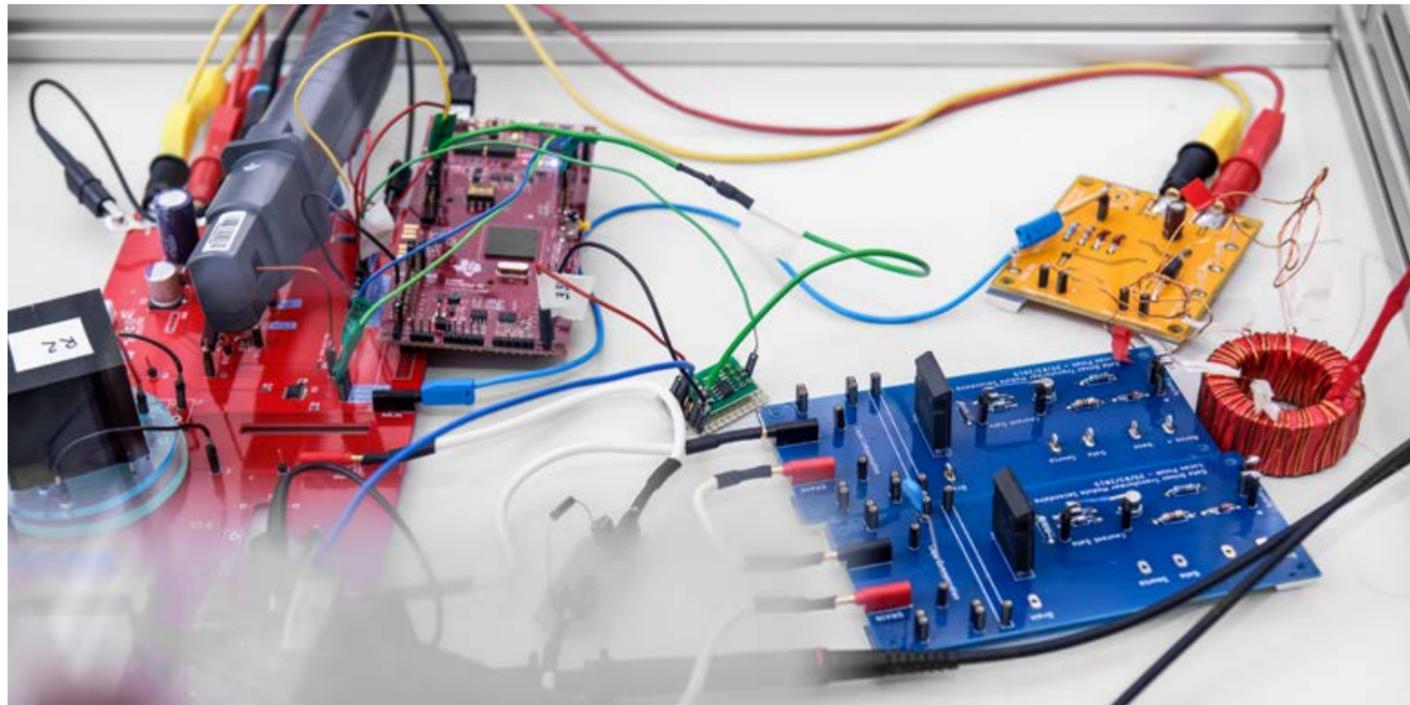
Wie sich die Ozeane in Zeiten der Klimaerwärmung weiter verändern, das sollen die kommenden Forschungs Expeditionen der «Eugen Seibold» wissenschaftlich fundiert aufzeigen – dank des Betriebskredits der Werner Siemens-Stiftung sind sie für die nächsten zehn Jahre finanziell gesichert.

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

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 Klimageochemie am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz, Deutschland

Projektdauer
2015–2030



Mit 5000 Volt Power kann der künstliche Ringmuskel um die Aorta mittlerweile ein schwaches Herz unterstützen.

Die Spannung steigt

Update zum Zentrum für künstliche Muskeln in Neuenburg

Mit dem Zentrum für künstliche Muskeln in Neuenburg unterstützt die Werner Siemens-Stiftung ein innovatives Team, das eine neuartige Behandlungsmethode bei Herzschwäche entwickelt: Ein künstlicher Muskel in Form eines Rings um die Hauptschlagader soll das Herz entlasten. Bereits stehen die ersten präklinischen Studien an.

Mehr als 7000 Liter Blut pumpt unser Herz täglich durch den Körper. Eine gewaltige Leistung. Doch manche Menschen erleiden im Laufe ihres Lebens eine Herzschwäche. Diese wird bisher mit Medikamenten oder Herzpumpen therapiert – was nicht ganz risikofrei ist. Das Team um Professor Yves Perriard vom Zentrum für künstliche Muskeln der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) entwickelt deshalb am Standort Neuenburg als alternative Therapie einen künstlichen Ringmuskel. Dieser besteht aus einer elastischen Membran, die als Ring um die Hauptschlagader (Aorta) gelegt wird. Elektrische Impulse aus einer Batterie werden bewirken, dass sich die Membran entspannt, bevor sie sich wieder zusammenzieht. Der dabei entstehende Druck auf die Hauptschlagader unterstützt das Herz bei seiner Arbeit, Blut durch den Körper zu pumpen.

Die Pumpleistung erhöhen
Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt das multidisziplinäre Forschungsteam aus Mikrotechnologie, Materialwissenschaft, Biomedizin und Chirurgie

nun im dritten Jahr. 2020 gelangen dem Team wichtige Fortschritte bei ihrer grössten Herausforderung – die nötige Pumpleistung zu erzeugen. Noch dazu mit einer Membran, die biokompatibel ist, im Körper also keine Abstoßungsreaktion hervorruft.

Unser Herz arbeitet normalerweise mit einer Leistung von einem Watt. Im Falle einer schweren Herzschwäche müsste der künstliche Muskel 30 bis 50 Prozent dieser Leistung übernehmen. Idealerweise kommt der Aorta-Ring aber schon dann zum Einsatz, wenn die Herzschwäche noch leicht bis mittel ist. Dann würden 5 bis 10 Prozent Unterstützung genügen, um die normale Herzleistung zu erzielen. Das Herz könnte sich im Idealfall sogar erholen und später wieder ohne Aorta-Ring funktionieren. Das Ziel, einen Aorta-Ring mit entsprechender Leistung zu entwickeln, hat das Team bereits erreicht: «Derzeit vermag unsere Membran rund 10 Prozent der Herzleistung zu erbringen», sagt Projektleiter Yves Perriard. Die Arbeit geht aber weiter. 20 Prozent der Herzleistung werden nun angestrebt.

Um 20 Prozent der Herzleistung zu erreichen, müssen die Forschenden Lösungen für die wichtigsten Elemente des künstlichen Muskels finden: das richtige Material, die nötige Anzahl Materialschichten und die passende Stromversorgung für den Aorta-Ring.

Optimierte Membran

Als Ausgangspunkt bei der Materialsuche setzte das Team auf Elastosil®, einen hauchdünnen Film aus Silikon-gummi. Dieser hat sich in Tests als vielversprechend erwiesen, weil er mit genügend Stromspannung versorgt werden kann, ohne brüchig zu werden. Die Forschenden haben den Silikon-gummi unter anderem in einer selbstentwickelten Anlage zur Simulation des Blutflusses im Körper getestet. Im Jahr 2021 stehen bereits erste präklinische Studien im Tiermodell an, um die Funktionsfähigkeit des Aorta-Rings zu prüfen.

Parallel sucht das Team nach einem noch besseren Material für die Membran. Bereits liegt der Prototyp einer Eigenentwicklung vor. Entscheidend wird auch sein, wie viele Schichten Material für den Ring nötig sein werden. Um die Schichten zu verbinden, haben die Forschenden einen Klebstoff entwickelt – für den sie bereits ein Patent angemeldet haben.

Bis zu 7000 Volt

Grosse Fortschritte erzielte das Team bei der Stromversorgung des Aorta-Rings. Als Stromquelle dient eine 12-Volt-Batterie, welche der Patientin oder die Patientin am Gürtel tragen wird. Mittels magnetischer Induktion wird die nötige Stromspannung von 5000 Volt erzeugt. Das entwickelte System könnte sogar 7000 Volt liefern, falls dies aufgrund der Materialwahl nötig sein würde. Das Motto aber ist: So wenig Stromspannung wie möglich, so viel wie nötig.

Anfang 2021 werden die einzelnen Teile der Stromversorgung bereit sein und können an den Aorta-Ring angeschlossen werden. Dann wird das System auf seine Effizienz geprüft. Insbesondere möchten die Forschenden die im Aorta-Ring gespeicherte Spannungsenergie zurückzugewinnen und sie dem Stromkreislauf wieder zuführen.

In der präklinischen und später in der klinischen Phase werden die Neuenburger Wissenschaftler unter anderem mit der Universität Bern und dem Universitätsspital Zürich zusammenarbeiten. Ab 2025 wird der renommierte Herzchirurg Thierry Carrel den Aorta-Ring klinisch testen.

Der künstliche Muskel aus Neuenburg soll nicht nur Menschen mit Herzschwäche helfen, sondern auch als künstlicher Schliessmuskel bei Blasenschwäche eingesetzt werden. Ausserdem könnte er Brandverletzten und Unfallopfern die Kau-Funktion und Mimik zurückgeben. Im Jahr 2020 hat das Forschungsteam mit den Vorarbeiten zu einem künstlichen Schliessmuskel für die Harnblase begonnen. Daraus gingen bereits zwei Patente hervor.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
12 Mio. Schweizer Franken

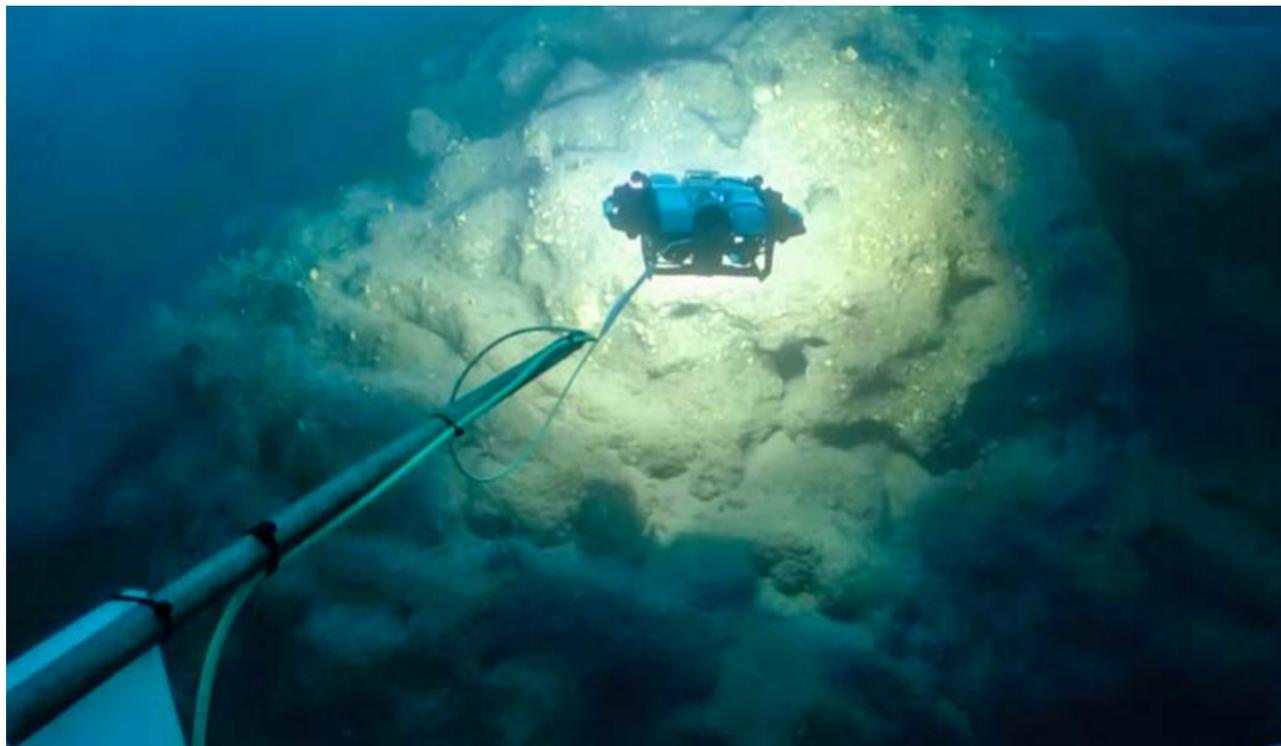
Projektleitung

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

Projektdauer
2018–2029

Tests unter Druck

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



Das beste Kartierungskonzept zum Schutz der Tiefsee nützt nichts, wenn es nicht vor Ort erprobt werden kann. Erste Gerätetests im Mittelmeer im Februar 2020 – bevor die Covid-19-Pandemie die Forschenden wieder ins Büro verbannte.

Ralf Bachmayer und sein Team vom Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung wurden durch die Covid-19-Pandemie zu einem ungünstigen Zeitpunkt ins Homeoffice verbannt – just als sie mit dem Testen wichtiger technischer Geräte im Meer so richtig loslegen wollten.

2020 fing richtig gut an. Ende Februar konnten Werner Siemens-Stiftungsprofessor Ralf Bachmayer vom Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung und zwei seiner Teamkollegen, Doktorand Arne Kausche und Software-Ingenieur Pablo Gutierrez, erstmals im Meer die wichtigsten technischen Elemente ihres Systems zur Tiefsee-Umweltüberwachung testen, die sie in den zwei Jahren davor entwickelt hatten: den ferngesteuerten Tauchroboter (abgekürzt ROV: Remotely Operated Vehicle), das weiterentwickelte autonome Unterwasserfahrzeug (abgekürzt AUV: Autonomous Underwater Vehicle), ein optisches Modem, eine Low-Light-Kamera und den «Bodenknoten», ein autonom arbeitendes stationäres Kamerasystem.

Das ROV und das AUV sind die zentralen Elemente, um die Kartierung der Tiefsee voranzutreiben. Damit die Unterwasserwelt bei der Kartierung nicht gestört oder gar zerstört wird, müssen die Geräte sehr umwelt-schonend arbeiten. Um das zu gewährleisten, hat Ralf Bachmayer ein mehrteiliges System entwickelt: Die Bilder vom Meeresboden nimmt das langsam dahingleitende, agile, kleine AUV auf. Die Bilddaten schickt es dem grösseren ROV, das sich über ihm mit mehr Abstand zum Meeresboden befindet und den Forschenden einen Überblick über das AUV und den Meeresboden vermittelt. Die Gesamtkontrolle über die Arbeiten und das Zusammenwirken von ROV und AUV erfolgt durch die Forschenden auf einem Forschungsschiff.

Schützenswerte Tiefsee

Bachmayers Konzept für die Umweltüberwachung der Tiefsee ist so komplex, weil die Ökosysteme in der Tiefe äusserst sensibel auf Eingriffe reagieren und sich davon kaum erholen können. In 200 und mehr Metern Tiefe funktioniert alles – Fortbewegung, Fortpflanzung und Regeneration – sehr langsam. Deshalb ist das Ansinnen der Länder und Konzerne, die unter dem Meeresboden schlummernden Rohstoffe wie Gold, Silber, Kobalt, Mangan oder Seltene Erden abzubauen, so verheerend. Frühere Abbauersuche haben gezeigt, dass die eingesetzten Bagger und Greifarme die äusserst sensible Tiefsee auf Jahrzehnte hinaus schwer schädigen. Deshalb ist es wichtig, dass Ralf Bachmayer sein System für die Kartierung der Tiefsee weiter testen und optimieren kann, damit schützenswerte Meeresregionen effektiv beobachtet werden können. Denn nur wenn die Internationale Meeresbodenbehörde ISA (International Seabed Authority) die ökologisch wichtigen Gebiete besser kennt, kann sie diese unter Schutz stellen und den Rohstoffabbau dort verbieten.

Tests im Mittelmeer

Im Februar 2020 waren Ralf Bachmayer und sein Team noch gut im Rennen. Erwartungsvoll sassen sie im Kontrollraum des Forschungsschiffs «Alkor» auf dem Mittelmeer und beobachteten auf dem Monitor, was ihre Unterwasserroboter bereits konnten. «Wir haben das Licht des ROV eingeschaltet, worauf die Low-Light-Kamera des AUV Bilder von ungefähr 70 m² Meeresboden gemacht hat – ohne dass es zu Störungen beim ROV gekommen wäre», erzählt Bachmayer. «Das Zusammenspiel funktionierte, wie wir es uns vorgestellt haben. Wir waren begeistert.»

Ebenfalls erfolgreich verlief der Test des von ihm entwickelten «Bodenknotens», eines autonomen, stationären Kamerasystems. «Wir stellten den Bodenknoten auf den Grund des Mittelmeers», erzählt Ralf Bachmayer. «Das System schaute sich um und detektierte selbstständig, woher Licht kam – das in diesem Fall vom ROV ausging –, und machte wie geplant Bilder davon – obwohl die Sicht schlecht war. Die Aufnahmen übertrug es kontaktlos über das optische Modem an das drei Meter entfernte ROV.» Der Bodenknoten wird dereinst dazu dienen, auf dem Meeresboden

selbstständig Messungen vorzunehmen und Aufnahmen vom Meeresboden einmalig oder in Serie zu machen. Die Aufnahmedaten können dann zu einem späteren Zeitpunkt kabellos über das optische Modem abgefragt werden.

Kurz vor dem Lockdown fuhr Ralf Bachmayers Crew mit der «Alkor» zu einem der Observatorien vor der spanischen Küste. Diese Observatorien sind Messstationen, die in tausend Metern Tiefe installiert sind und verschiedene Parameter wie den Bodendruck oder den Bodentemperaturverlauf messen. Sie können aber auch andere Daten wie zum Beispiel Bilder speichern, die man später kontaktlos wieder abfragen kann.

Jäher Stopp

Just nach dem erfolgreichen Abschluss der Technologietests im Mittelmeer kam die Covid-19-Pandemie und verlangsamte die Weiterentwicklung des Systems. «Unsere Geräte lassen sich zur Not auch in Gewässern wie der Weser oder der Nordsee testen, die von Bremen aus einfach zu erreichen sind», überlegte Bachmayer im Sommer 2020, als der Lockdown zwar aufgehoben war, das neuartige Coronavirus aber immer noch zirkulierte. «Die Nordsee ist zwar nur 40 Meter tief, und nicht 200 Meter und mehr wie die Tiefsee, aber man könnte dort wenigstens die Navigation des AUV bei schlechter Sicht erproben.» Sind all die neuen Hürden, die sich durch die Pandemie zusätzlich zu den Herausforderungen in der Tiefsee noch auftürmen, überhaupt zu schaffen? «Wir packen das», sagt Bachmayer. «Aber es ist wichtig, dass wir die Lösung der Aufgaben, die mit der Tiefsee-Umweltüberwachung einhergehen, schrittweise vorantreiben. Ansonsten kann die Vielzahl der wissenschaftlichen und technischen Herausforderungen überwältigend sein.»

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

Schlaues Laser-Skalpell

Update MIRACLE – minimalinvasive Knochenoperationen mit Laser

Weg von der Knochensäge, hin zum Laser-Skalpell: Die Forschenden des MIRACLE-Projekts arbeiten darauf hin, minimalinvasive Knochenoperationen möglich zu machen. Ihr robotergesteuertes Lasersystem schneidet nicht nur fein und präzise, sondern sorgt durch neuentwickelte Sensoren und Methoden gleich selbst für die eigene Überwachung und für die Sicherheit der künftigen Patientinnen und Patienten.

Hoch präzise: Das Laser-Skalpell erkennt mithilfe eines optoakustischen Sensors, in welcher Art Gewebe es sich befindet. Chirurginnen und Chirurgen, die mit dem Laser-Skalpell operieren wollen, brauchen ausserdem ein grünes Licht zur Orientierung – es wurde installiert, weil der Schneidelaserstrahl für das menschliche Auge unsichtbar ist.

Viele Operationen an Gelenken oder im Bauchraum werden heute bevorzugt minimalinvasiv durchgeführt. Statt über einen grossen Schnitt durch Haut und Gewebe erreichen Chirurgen die erkrankte Stelle mit Endoskopen, die sie durch winzige Hautschnitte einführen. Das ist für die Patientinnen und Patienten schonender. Darum will das Team des MIRACLE-Projekts um die Professoren Philippe Cattin und Hans-Florian Zeilhofer an der Universität Basel künftig minimalinvasive Operationen auch an Knochen möglich machen – mit einem robotergesteuerten Laserstrahl. Ein solches «Laser-Skalpell» schneidet äusserst fein und präzise, und zwar nicht nur gerade durch den Knochen hindurch, sondern auch in Bögen oder S-Formen. So lassen sich gebrochene Knochen derart bearbeiten, dass die Teile wie dreidimensionale Puzzleteile wieder zusammenpassen. Das führt dazu, dass die operierten Knochen schneller zusammenwachsen als bisher.

Immer kleiner und kontrollierter Ihrem Ziel, ein Laser-Skalpell für die Knochenchirurgie zu entwickeln und dieses minimalinvasiv an die erkrankte Stelle zu bringen, kommen die Basler Forschenden immer näher. Zurzeit arbeiten sie an zwei Fronten: Erstens müssen die bisher entwickelten Laser-Technologien kleiner werden, damit sie in die Spitze des Endoskops passen. Und zweitens sollen miniaturisierte Sensoren in der Endoskop-Spitze laufend messen, wo genau sich das Laser-Skalpell im Körper des Patienten befindet. «Weil der Chirurg bei Eingriffen mit einem Endoskop nicht selbst sehen kann, was im Inneren des Körpers passiert, werden Technologien benötigt, die ihm beim Navigieren helfen», sagt Philippe Cattin.

Für die Navigation haben die Forschenden neue optische Sensoren entwickelt. Diese sollen in die flexiblen, robotergesteuerten Gelenke der Laser-Endoskop-Spitze eingebaut werden und dort die Gelenkwinkel – und damit die Bewegungen des Endoskops – aufzeichnen. Cattin nimmt einen der etwa einen Zentimeter grossen Sensoren in die Hand und erklärt: «Im Inneren des Sensors sind elektrische Bauteile und winzige Spiegel so angeordnet, dass sie Winkel extrem präzise messen können. Das Prinzip funktioniert bereits, nun

müssen wir die Sensoren nur noch etwas kleiner konstruieren, damit sie in die Gelenke der Laser-Endoskop-Spitze hineinpassen.»

Verlässlicher Winzling

Wie das Laser-Skalpell an der Endoskop-Spitze aussieht, zeigt Professor Georg Rauter, der Leiter der Robotik-Gruppe des MIRACLE-Projekts. Es ist ein richtiger kleiner Roboter und das eigentliche Herzstück des gesamten Systems. An den Seiten hat er zwei «Ärmchen», mit denen er sich am Knochen festhalten kann. Das verleiht ihm Stabilität und Präzision. Tests haben kürzlich gezeigt, dass der Roboter-Winzling Bewegungen auf mindestens ein Viertel Millimeter genau ausführen kann.

Der Laser kann allerdings nicht nur schneiden – vielmehr haben die MIRACLE-Laserphysiker ihn zu einem wahren Multitalent gemacht. So kann der Laser mittels sogenannter optischer Kohärenztomografie (englisch abgekürzt: OCT) beim Schneiden zeitgleich messen, wie tief er schon geschnitten hat. Ausserdem kann das System Gewebe charakterisieren. Denn das Laserlicht erzeugt je nach Gewebe unterschiedliche Lichtemissionen und akustische Signale. Diese misst das System und erkennt so, ob der Laser Knochen oder Nervengewebe, gesundes Gewebe oder einen Tumor schneidet. Kombiniert mit der OCT-Methode, die ebenfalls Hinweise auf die Gewebearbeit liefert, funktioniert das, schon kurz bevor der Laser schneidet. «Damit machen wir aus einem Laserstrahl, der eigentlich rigoros alles durchschneiden würde, ein schlaues und sicheres System, das nur das gewünschte Gewebe durchtrennt», sagt der Leiter der Gruppe «Medizinische Laserphysik und Optik» Professor Azhar Zam.

Eine Herausforderung ist es, das Laserlicht in die Endoskop-Spitze zu bringen. Denn herkömmliche Laserquellen passen unmöglich in ein Endoskop hinein. Darum muss die beträchtliche Laser-Energie, die für das Schneiden von Knochen nötig ist, entweder durch eine viel kleinere Quelle erzeugt oder von aussen durch ein dünnes Glasfaserkabel in die Endoskop-Spitze geleitet werden. Zur Lösung des Problems haben sich die Laser-Physiker verschiedene Ansätze überlegt, die sie nun weiterentwickeln und testen.

Operationen schlauer planen

Weiterentwickelt haben die Forschenden auch SpectoVR, ihre erfolgreiche Virtual-Reality-Software. Diese wandelt Aufnahmen aus bildgebenden Verfahren wie CT oder MRI in virtuelle, dreidimensionale Bilder um, in die man mit einer Datenbrille eintauchen kann. «Das macht die Planung einfacher und intuitiver», sagt Cattin. «Wir erhalten von Ärztinnen und Ärzten, die SpectoVR bereits nutzen, extrem positive Feedbacks.» Doch damit nicht genug: Nun arbeitet das Team daran, zusätzlich Haptik einzubauen. Damit kann man die Aufnahmen dann nicht nur in 3-D sehen, sondern sogar ertasten. Im Labor des Robotik-Gruppenleiters Georg Rauter ist eine erste entsprechende Anlage aufgebaut, die das Team nun laufend weiterentwickelt.

Schon jetzt lässt sich in der virtuellen Umgebung ein Rückenwirbel mit einem Stift, den man in der Hand hält, «erfühlen». Die Software rendert die originalen CT-Bilder haptisch und gibt einem an jeder Stelle den passenden Widerstand in die Hand – sodass sich die virtuelle Kopie wie ein realer Wirbel anfühlt. Das ist weltweit einzigartig.

Aufgrund seiner vielen Erfolge wird MIRACLE ab dem Jahr 2022 ein zweites Mal von der Werner Siemens-Stiftung unterstützt.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
15,2 Mio. Schweizer Franken (2014–2021)
12 Mio. Schweizer Franken (2022–2027)

Projektleitung

Prof. Dr. Philippe Cattin, Professor für Medizinische Bildanalyse und Leiter des Department of Biomedical Engineering, Universität Basel, Schweiz
Prof. Dr. Hans-Florian Zeilhofer, Delegierter für Innovation an der Universität Basel, Schweiz, vormals Leiter der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie am Universitätsspital Basel, Schweiz

Projektdauer
2014–2027



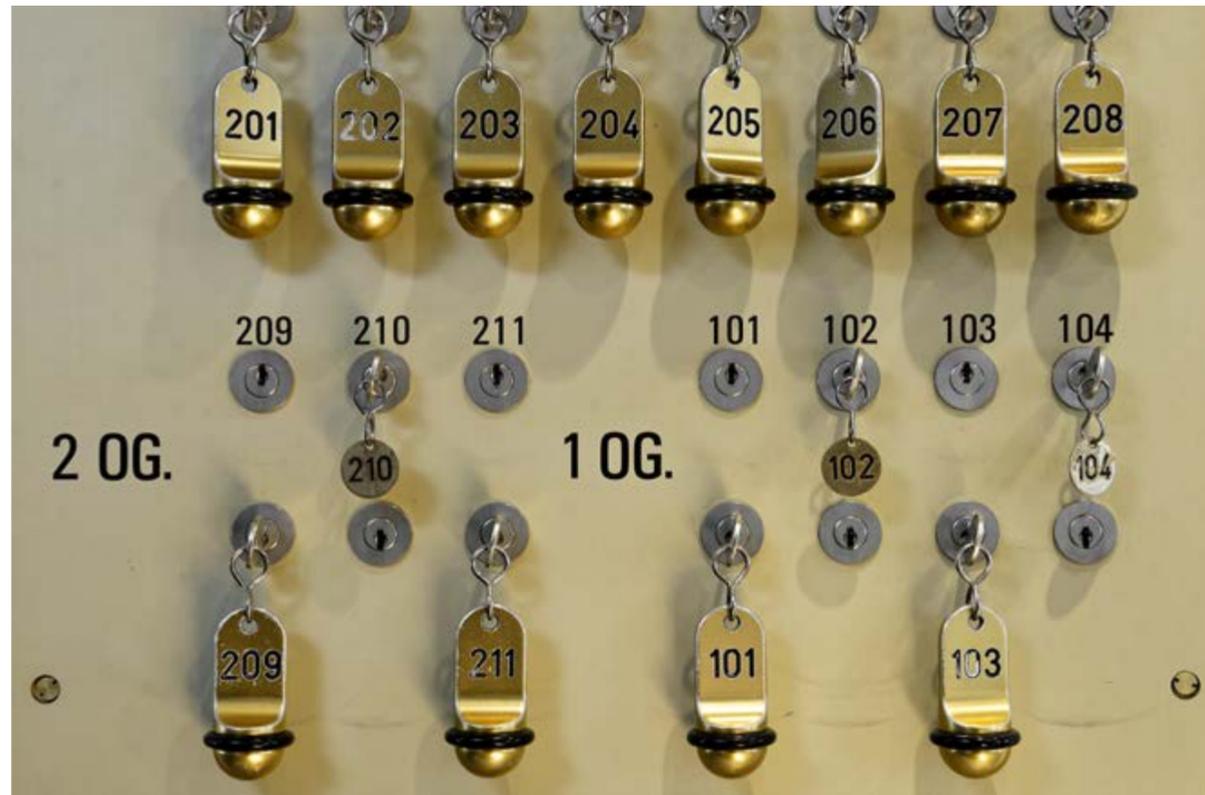
Ergreifen und begreifen: Die Forschenden haben ihre erfolgreiche Virtual-Reality-Software SpectoVR um die haptische Dimension erweitert.



MIRACLE nimmt Gestalt an: Die wichtigsten Komponenten, die es für eine minimalinvasive, roboterunterstützte, computergesteuerte Knochenoperation mit Laser braucht, sind entwickelt.

Flexible Schlüsseln

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



Jeder Schlüssel hat seinen eigenen Platz – der Bezug zu einem realen Ort soll in Zukunft auch das Internet sicherer machen.

Die digitale Welt hinkt in Sachen Sicherheit massiv der physischen Welt hinterher. Die Forscher des «Zentrums für Digitales Vertrauen» an der ETH Zürich arbeiten deshalb an absolut angriffssicherer Internet-technologie. Dabei kam ihnen die Idee von räumlich gebundenen Internet-«Schlüsseln».

Nehmen wir an, wir haben ein Zimmer in einem charmanten Berghotel gebucht: Dort empfängt uns eine Rezeptionistin, die uns den Zimmerschlüssel aushändigt. Selbst wenn wir tagsüber wandern gehen, machen wir uns um unser Hab und Gut im Zimmer keine Sorgen. Denn wir vertrauen der Person im Hotel, dass sie die Schlüssel sicher hütet.

Im Internet sind solche vertrauenswürdigen Instanzen viel schwieriger einzurichten. Der Schutz von Eigentum – also von Daten – funktioniert im Internet zwar auch mit «Schlüsseln», allerdings bestehen sie aus einer langen Folge von Zahlen und Zeichen; damit werden bei der Übermittlung die Daten verschlüsselt, so dass sie für «Unbefugte» nicht lesbar sind.

Die gängige Public-Key-Infrastruktur ist aber nicht hundertprozentig sicher. «Es wird noch viel zu wenig dafür getan, dass Herr und Frau Jedermann die Internetdienste sicher nutzen können und dass die zugrunde liegende Infrastruktur solide ist. Das ist genau der Fokus unseres Projekts», sagt Professor Adrian Perrig, einer der vier Leiter des Zentrums für Digitales Vertrauen an der ETH Zürich und der Universität Bonn. Er und seine Mitstreiter, die Professoren David Basin, Peter Müller und Matthew Smith, möchten das Internet hundertprozentig sicher machen.

Räumlicher Beweis

Einen grossen Schritt vorwärts schafften die Forschenden im vergangenen Jahr mit dem Entwurf einer neuartigen Public-Key-Infrastruktur (PKI): der

Flexible PKI. Sie haben sich ein Zertifizierungssystem überlegt, das auf einem räumlichen Beweis beruht, der die Vertrauenswürdigkeit eines Absenders leicht erkennbar macht. Mit diesem physischen Ort wäre der elektronische Schlüssel verknüpft – ähnlich wie der Hotelschlüssel bei Nichtgebrauch am Schlüsselbrett in der Rezeption hängt. «Wir denken, dass dieser physische Aspekt sehr gut nachvollziehbar ist. Die Userinnen und User könnten dadurch erkennen, dass eine E-Mail von einer bestimmten Person oder von der eigenen Bank kommt», erklärt Adrian Perrig das Konzept.

Dank der *Flexible PKI* könnte jede Einzelperson, jedes Unternehmen oder sonstige Instanz selbst bestimmen, wem sie vertrauen möchte, ganz wie in der physischen Welt. Auch wird die *Flexible PKI* Hacker-Angriffe auf Zertifizierungsbehörden und die von ihnen ausgehenden Public Keys verunmöglichen. So hielte sich der Schaden, den Hacker-Attacken anrichten, in Grenzen. Adrian Perrig: «Die stärksten Angriffe haben dann nicht mehr wie bisher die Wirkung eines Maschinengewehrs, sondern nur noch einer Wasserpistole.»

Jeder einzelne Besitzer eines *Flexible Key*, so Perrig, besässe auch eine für diesen Schlüssel geltende Leitlinie (Policy), die separat in einem manipulationssicheren Bereich gespeichert wäre. Gemäss dieser Policy würden die Schlüssel jeweils generiert. Solche Leitlinien aufzusetzen und zu speichern, sei zwar aufwändig, aber man könne darauf basierend neue Schlüssel erstellen und alte updaten. Es sind aber noch einige Probleme zu lösen, etwa ob ein bestimmter Raum auch wirklich einer Instanz gehört oder was mit dem Schlüssel passiert, wenn der Besitzer eines Raumes wechselt.

Verifikation der Software

Mit dem Konzept der *Flexible PKI* ist es noch nicht getan. Parallel führt der Forschungspartner Matthew Smith in Bonn Studien durch, um herauszufinden, ob veränderte technische Lösungen das Vertrauen der Userinnen und User überhaupt erhöhen würden.

Zudem müssen Professor David Basin und sein Team die Funktionsweise der *Flexible PKI* mithilfe von eigens entwickelter Software noch verifizieren und auf ihre Korrektheit prüfen. Ist das Software-Design verifiziert, kontrolliert die Gruppe von Peter

Müller mithilfe eines mathematischen Beweises, ob auch die Software-Implementierung fehlerfrei arbeitet. «Das wird uns noch eine Weile beschäftigen», sagt Peter Müller. «Erfahrungen aus anderen Projekten zeigen, dass die Verifikation von Software fünfmal so lange dauert wie die Entwicklung der Software.» Zu seinen Aufgaben gehört deshalb auch, die Effizienz von Verifikationsmethoden zu steigern.

Die beiden Verifizierungsschritte miteinander zu verbinden, ist ebenfalls eine grosse Herausforderung. Es braucht dazu einen «Klebstoff», der das Software-Design (was programmiert sein sollte) mit dem Programmiercode (was programmiert ist) verbindet. Zur Bezeichnung der neuartigen Verifikationsmethode hat David Basin das Wort *Igloo* (englisch für Iglu) gewählt – in dem i-gluie mitschwingt (Internet-Klebstoff). Mit der neuen Verifikationsmethode ist den Forschern des «Zentrums für Digitales Vertrauen» ein Durchbruch gelungen. Peter Müller vergleicht die Bedeutung von *Igloo* mit der Schlussabnahme eines Neubaus: «Am Schluss wollen wir wissen, ob das Haus wirklich so ist, wie es sein soll, ob also der Plan und die Implementierung übereinstimmen. Das leistet *Igloo* als mathematischer Beweis.» Durch die geplante Software-Verifikation werden alle bisherigen Software-Fehler, die Hackern als Einfallstore für Attacken dienen, ausgeschlossen.

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

Projektleitung

Prof. Dr. David Basin, Department of Computer Science, Informationssicherheit, ETH Zürich, Schweiz
Prof. Dr. Peter Müller, Department of Computer Science, Programmiermethodik, ETH Zürich, Schweiz
Prof. Dr. Adrian Perrig, Department of Computer Science, System- und Netzwerksicherheit, ETH Zürich, Schweiz

Akademischer Partner

Prof. Dr. Matthew Smith, Institute of Computer Science, Universität Bonn

Projektdauer
2019–2027

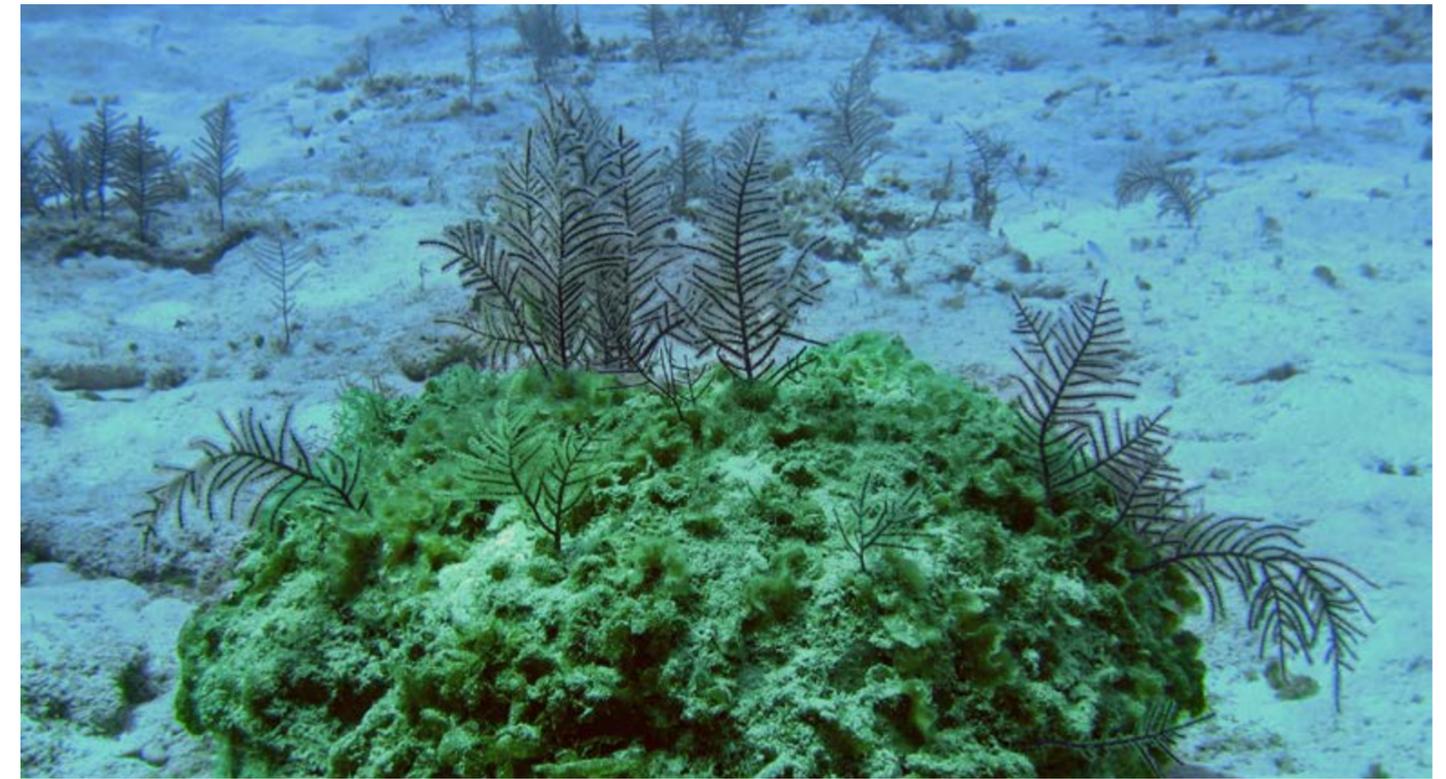
Der Natur abgeschaut

Update Synthetische Biotechnologie an der Technischen Universität München

Neuer entzündungshemmender Wirkstoff, neues Antibiotikum, CO₂-neutrales Carbon, Ersatz für Palmöl, Algen als Kraftstofflieferanten – das sind noch nicht einmal alle Themen, die am Lehrstuhl für Synthetische Biotechnologie an der Technischen Universität München bearbeitet werden. Doch Werner Siemens-Stiftungsprofessor Thomas Brück weiss, dass er und sein Team «zwar vieles, aber nicht alles können». Was ihnen fehlt, holt Brück über Kooperationspartner aus Forschung und Industrie ins Projekt. Auch ein regelmässiger Austausch unter den Geförderten der Werner Siemens-Stiftung schwebt ihm vor.

«Die Werner Siemens-Stiftung fördert weltbeste Forschung. Und die muss man nutzen.» Der Biochemiker Thomas Brück spart nicht mit Superlativen, wenn es um die von der Werner Siemens-Stiftung geförderten Kolleginnen und Kollegen geht. Um gegenseitig vom Know-how zu profitieren, würde er gerne mal «zusammensitzen und fragen: Woran arbeitet ihr?». Er könnte sich durchaus vorstellen, dass daraus gemeinsame Drittmittel-Projekte entstehen. Auch dass sich die Werner Siemens-Lehrstühle zu grösseren Verbänden zusammenschliessen, wäre für ihn eine Option.

Kooperationspartner in Israel
Brück ist ein Meister der Kooperation. Die wohl wichtigste Kooperation im Jahr 2020 ist die neue Zusammenarbeit mit dem renommierten Weizmann Institute of Science und mit der Bar-Ilan-Universität in Israel. Gemeinsam wurde ein Hochtechnologieprojekt gestartet, das die Produktion neuer entzündungshemmender Wirkstoffe ermöglicht. Brücks Wirkstoff der Wahl ist Cyclooctatin. In geringen Mengen kann sein Team Cyclooctatin bereits



Die geschützte karibische Hornkoralle produziert einen wertvollen antibiotischen Wirkstoff – diesen können die Forschenden der Synthetischen Biotechnologie nun mithilfe genetisch optimierter Kolibakterien im Labor herstellen.

seit sechs Jahren biotechnologisch herstellen. Dank der Zusammenarbeit mit den israelischen Partnern wird die Produktion von grösseren Mengen möglich. «Die israelischen Kollegen aus der Bioinformatik haben neue Rechen-Algorithmen entworfen, wie man die Oberflächenstruktur und das aktive Zentrum eines Schlüsselenzyms verbessern kann, um so die Effizienz und Stabilität des Gesamtprozesses zu erhöhen», sagt Brück. «Wir hatten diese Kompetenzen nicht. Die Kollegen in Israel jedoch sind in diesem Spezialgebiet der Bioinformatik Weltspitze.»

Wirkstoff gegen Entzündungsprozesse
Die Daten und Ergebnisse, die die israelischen Bioinformatiker liefern, will Brück nutzen, um am Werner Siemens-Lehrstuhl für Synthetische Biotechnologie (WSSB) in München seine Cyclooctatin herstellenden Enzyme besser zu machen. «So können wir ein komplett neues entzündungshemmendes Mittel herstellen, das potenziell weniger Nebenwirkungen hat als bereits im Markt etablierte Produkte.» Brück möchte den neuen

Wirkstoff in die klinische Prüfung bringen. «Dazu müssen wir ihn kiloweise bereitstellen können», erklärt er. Dank dem Know-how der israelischen Spitzenkräfte kann er den Produktionsprozess von Cyclooctatin stabiler und ertragreicher machen.

Nach dem Vorbild der Korallen
Auch gegen Bakterien, genauer: gegen multiresistente Tuberkulose-Bakterien hat Brücks Team Mitte 2020 einen Wirkstoff-Produktionsprozess entwickelt. Sein Team bildete dazu den natürlich vorkommenden antibiotischen Wirkstoff Erogorgiaen biotechnologisch nach. In der Natur wird Erogorgiaen von der karibischen Hornkoralle produziert. Doch sind Korallenriffe ökologisch viel zu wertvoll, als dass man sie zur Gewinnung von Erogorgiaen zerstören dürfte. Und sie sind geschützt. Ausserdem produzieren die Hornkorallen den Wirkstoff nur in geringen Mengen. Thomas Brück, seiner Doktorandin Marion Ringel und Kolleginnen und Kollegen aus Berlin, Kanada und Australien ist es nun gelungen, das antibiotisch wirkende

Erogorgiaen ohne eine einzige Koralle im Labor herzustellen. Die Hauptarbeit übernehmen dabei genetisch optimierte Kolibakterien. Sie werden mit Glycerin gefüttert (einem Reststoff aus der Biodiesel-Produktion) und produzieren daraufhin ein Molekül, das sich mithilfe von Enzymen in Erogorgiaen verwandeln lässt – und das ohne Abfall, da alle Nebenprodukte in einem geschlossenen Kreislauf wiederverwendet werden können. Das innovative Verfahren, das grössere Mengen Erogorgiaen zu produzieren erlaubt und dabei auch noch kostengünstig ist, wurde zum Patent angemeldet.

Green Carbon
Green Carbon, die letztjährige «Erfindung» von Thomas Brück und seinem Team, hat in den vergangenen zwölf Monaten richtig Fahrt aufgenommen. Verschiedene Industrieunternehmen zeigen sich interessiert an der CO₂-neutralen Produktion von Carbon aus Algen. Grosse internationale Sportartikelhersteller möchten Hochleistungssportgeräte und Bekleidungsartikel aus grünem



Kerosin-Ersatz aus Algenöl ist möglich, sofern die Algen-Produktionsanlage gross genug ist. Ginge es nach Thomas Brück, stünde sie schon bald im sonnigen Italien ...

Carbon machen. «Ich hätte nicht gedacht, dass das ein Anwendungsbereich sein könnte», gibt Thomas Brück zu.

An den Einsatz im Baubereich hingegen hat Brück sehr wohl gedacht. So hat sein Team zusammen mit dem deutschen Partnerunternehmen TechnoCarbon Technologies für eine finnische Baufirma einen sechs Meter langen Prototypen eines T-Trägers gebaut. Die finnische Firma will den Carbon-Stein-Verbundwerkstoff im Baubereich einsetzen.

Grüner bauen

«Die Kombination von grünen Carbonfasern und Stein ist für die Baubranche ein perfekter Ersatz für Stahl», sagt Brück. Auch grosse, anspruchsvolle Bauten wie Brücken können damit realisiert werden. Brücks Team hat eine sogenannte Bewehrung hergestellt, das ist eine verstärkende Konstruktion innerhalb eines Betonträgers. Normalerweise wird eine Bewehrung aus Stahl gemacht. Doch Stahl verliert mit der Zeit seine Dehnbarkeit und beginnt zu rosten, wodurch es zu Spannungsrissen kommen kann. Der Carbon-Stein-Verbundwerkstoff hingegen rostet nicht, wiegt halb so viel und ist gleich stabil wie Stahl, so Brück. Das haben unabhängige Tests gezeigt. «Die Resultate der DIN-genormten Belastbarkeitstests sind wirklich überraschend – auch für uns», sagt Brück.

Auch dem Beton macht die Kombination aus grünen Carbonfasern und Stein Konkurrenz. Denn daraus lassen sich auch sehr dünne und tragfähige Wände oder Böden bauen. Besonders «grün» wäre ein Fertigbau-Modulsystem, das ohne Zement auskommt. «Damit würde man eine grosse CO₂-Reduktion im Bauwesen erreichen, denn die Zementherstellung verantwortet aktuell etwa fünf Prozent des weltweiten CO₂-Ausstosses», sagt Brück. Die Herstellung des Carbon-Stein-Verbundwerkstoffs hingegen basiert auf Algen, die CO₂ absorbieren. «Unser Herstellungsprozess von Carbon mittels Algen absorbiert mehr CO₂, als er ausstösst», sagt Brück. «Mit dem grünen Carbon könnten wir den Baubereich revolutionieren.»

Wertschöpfungsketten

Der deutsche Verband des Carbonfaser-produzierenden und -nutzenden Gewerbes (Composite United e.V.), verschiedene Bundesministerien und

namhafte Chemiefirmen sind bereits mit Brück in Kontakt getreten, um die Technologie zur Herstellung der grünen Carbonfaser marktreif zu machen und so eine permanente CO₂-Senke zu schaffen.

Als nächstes muss sich Brück nun ein Produktionsverfahren überlegen, das in kühlen Regionen funktioniert und nicht von Wärme und Sonne abhängig ist wie die algenbasierte Carbon-Herstellung. Eine Möglichkeit wäre die Gasfermentation. Diese weist zwei grosse Pluspunkte auf: «Die Gasfermentation liesse sich erstens mit unseren Ölhefe-Reaktoren verbinden», sagt der Biotechnologe. «Das Öl, das unsere Hefen herstellen, könnte sehr effizient für die Carbonfaserproduktion verwendet werden. Und zweitens wäre es möglich, das Verfahren mit der Herstellung von grünem Wasserstoff zu koppeln.»

Grüner Wasserstoff

Wasserstoff gilt derzeit als aussichtsreiche Alternative zu fossilen Brennstoffen, erklärt Brück seinen Gedankensprung zu Wasserstoff. Wasserstoff möchte er in einem geschlossenen, wertschöpfenden, biologisch-chemischen Stoffkreislauf herstellen. Vereinfacht sieht der Kreislauf so aus: Wasserstoff wird durch die Spaltung von Wasser mittels Windenergie und Solarstrom gewonnen. Dabei entsteht neben dem Wasserstoff viel reiner Sauerstoff. Den reinen Sauerstoff gedenkt Brück den Hefen in seinem Bioreaktor zuzuführen; die Hefen lieben reinen Sauerstoff und produzieren dadurch viel Biomasse und Öl. Den Wasserstoff wiederum sowie das ebenfalls entstandene CO₂ will Brück in einer Gasfermentation nutzen und in Essigsäure umwandeln. Die Essigsäure wird zusammen mit Zucker aus biogenen Reststoffen wie Stroh an die Ölhefen verfüttert, worauf die Hefen in kurzer Zeit sehr viel Öl produzieren. Auf dieses spezielle Verfahren hält der WSSB seit 2019 ein Patent. Das resultierende Hefeöl kann durch biotechnologische und nachhaltige chemische Prozesse in viele verschiedene Grundstoffe umgewandelt werden. Seit Neuem auch in einen Palmöl-Ersatz.

Palmöl-Ersatz

Palmöl ist ein sehr beliebter Rohstoff, für dessen Anbau aber Regenwälder zerstört werden. «Wir haben jetzt einen

kompletten Ersatz für Palmöl», freut sich Brück. Den Palmöl-Ersatz auf den Markt bringen wird ein neu gegründeter Spin-off mit dem Namen Global Sustainable Transformation. Bereits wurde mit einem Nahrungsmittelkonzern aus den USA vereinbart, dass er das Hefeöl als Ersatz für Palmöl produzieren darf.

Kraftstoff aus Algen

Der Lockdown wegen der Covid-19-Pandemie im Frühling 2020 brachte die Experimente in den Labors des WSSB zum Erliegen. «Gleichzeitig führte der dreimonatige Stillstand aber auch dazu, dass einige Firmen realisierten, dass sie das Thema Nachhaltigkeit ernster nehmen müssen, um langfristig im Markt zu bestehen», erzählt Brück. So auch der Flugzeughersteller Airbus. Airbus überlegt sich derzeit intensiv, wie sich das Fluggeschäft nachhaltiger ausrichten liesse. Mit an Bord der umfangreichen Strategiegruppe ist neben diversen Zulieferern auch Thomas Brück. Aktuell überlegt sich Brück mit Industrievertretern, wie und wo die Algen-Produktion für die Herstellung des nachhaltigen Kraftstoffs hochgefahren werden könnte. Brück liebäugelt mit einer 100 Hektar grossen Algen-Produktionsstätte in Italien. Weshalb gerade Italien? «Weil Airbus auch in Italien präsent ist», antwortet Brück, «und weil Italien eine grosse Nahrungsmittelindustrie hat.» Nahrungsmittelindustrie? «Ja – ich würde sehr gerne mal eine richtig gute Algennudel kreieren.»

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
11,5 Mio. Euro

Projektleitung

Prof. Dr. Thomas Brück, Inhaber der Werner Siemens-Stiftungsprofessur für Synthetische Biotechnologie an der Technischen Universität München (TUM), Deutschland

Projektdauer
2016–2021



Von Weltrekord zu Weltrekord: Die Energieeffizienz der Einzelatom-Schalter verblüfft selbst die Entwicklerinnen und Entwickler.

Die Power eines einzelnen Atoms

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

Ob Computer, Smartphone oder USB-Stick: In jedem elektronischen Gerät sind Millionen von energiefressenden Steuerelementen verbaut. Deutlich energieeffizientere Elemente entwickelt das Forschungsteam des Zentrums für Einzelatom-Elektronik und -Photonik – mit einem Prinzip, das auf der Schalterfunktion eines einzelnen Atoms beruht. Nun hat das Team seinen eigenen Weltrekord in Sachen Energieeffizienz erneut unterboten.

«Stellen Sie sich einen Mikrochip vor, der 1000-mal effizienter ist als heutige Computerchips», sagt Professor Jürg Leuthold. Genau solche extrem sparsamen Chips wollen er und seine Projektpartner vom Zentrum für Einzelatom-Elektronik und -Photonik – die Professoren Mathieu Luisier an der ETH Zürich und Thomas Schimmel am Karlsruher Institut für Technologie – in Zukunft möglich machen. Dazu nutzen die Forscher ein neuartiges Prinzip: Anstatt auf dem Fluss von Elektronen wie bei herkömmlicher Elektronik basieren ihre Bauteile auf der Schalterfunktion eines einzelnen Atoms. Dabei werden die Metallkontakte (Elektroden) eines Schaltkreises so nah beieinander platziert, dass nur eine winzige Lücke von der Grösse eines Atoms bleibt. Durch das gezielte Hin- und Herschieben eines einzelnen Atoms wird der Stromkreis geschlossen oder unterbrochen.

Nun benötigt jeder einzelne Schaltungsvorgang eine bestimmte Aktivierungsenergie. Beim Einzelatom-Prinzip ist diese verschwindend klein: Der Einzelatom-Transistor, den Thomas Schimmel zusammen mit seinem

Team konstruiert hat, funktioniert inzwischen mit einer Spannung von lediglich drei Millivolt – das ist Weltrekord. Schon die vorherige Version benötigte mit sechs Millivolt nur eine extrem geringe Aktivierungsspannung. «Diesen Wert konnten wir im letzten Jahr durch Optimierungen bei der Herstellung der Elektroden-Mikrostrukturen nochmals deutlich verbessern», sagt Schimmel. Zum Vergleich: Herkömmliche Transistoren, wie sie heute etwa in Smartphones verbaut sind, benötigen eine Spannung von knapp einem Volt – also rund 300-mal mehr als der Einzelatom-Transistor. «In der Praxis dürfte sich dies in eine Verbesserung der Energieeffizienz um das 1000-Fache umsetzen lassen», sagt Projektleiter Jürg Leuthold.

Vom Gel zum Glas

Das schlaue Prinzip funktionierte bisher nur unter Laborbedingungen in einem System mit einem Gel-Elektrolyten als Trägermaterial. Da Gel-Elektrolyten aber in CMOS-Geräten nur schwer zu realisieren sind, arbeitet die Forschungsgruppe von Jürg Leuthold daran, die Einzelatom-Funktionsweise in ein System aus soliden Materialien zu übertragen. Jüngst gelang den Forschenden ein wichtiger Schritt in diese Richtung. Sie konstruierten ein Einzelatom-Bauelement, dessen Metallkontakte (Elektroden) aus Platin und Silber bestehen und mit dem Trägermaterial Glas statt mit einem Gel-Elektrolyten verbunden sind.

Das Einzelatom-Bauelement haben die Forschenden mit einem sogenannten Inverter verbunden, einem wichtigen Grundbaustein herkömmlicher Elektronik. Dabei haben sie Erstaunliches entdeckt: Durch die Kombination sinkt der sogenannte Dunkelstrom um das 100-Fache. Dunkelstrom ist jene Menge an Strom, die auch im «Aus»-Zustand durch elektronische Bauteile fliesst und die sich in elektronischen Geräten zum bekannten Standby-Strom aufsummiert. Zudem sinkt in Leutholds kombiniertem Setup auch der Stromverbrauch im «An»-Zustand immerhin um das 10-Fache.

Nützliche Computersimulationen

Parallel dazu erforscht das Team, welche Materialien sich am besten als Elektrodenmaterial eignen. Im Gel-System hat sich bisher Silber als am vorteilhaftesten entpuppt – nicht nur in seinen elektronischen Eigenschaften,

sondern auch, weil sich mit Silber die winzig kleinen Elektrodenstrukturen am besten herstellen lassen. Um ihr System weiter zu optimieren, nutzen die Forschenden neu auch Computersimulationen. Denn theoretisch gibt es enorm viele Möglichkeiten, unterschiedliche Elektrodenmaterialien mit verschiedenen Trägermaterialien – etwa Gel, Glas, Titanoxid oder Aluminiumoxid – und mit unterschiedlichen Herstellungsarten zu kombinieren. «Wir können schlicht nicht alles experimentell testen», sagt Leuthold. Darum hat die Gruppe von Mathieu Luisier ein Computerprogramm entwickelt, das aufgrund der physikalischen Gesetze und der Eigenschaften der Atome simuliert, wie sich ein Material im Einzelatom-System verhalten würde. Ihren Algorithmus haben die Forschenden im letzten Jahr mithilfe des bestehenden Einzelatom-Transistors mit den Silber-Elektroden weiterentwickelt und validiert. «Künftig können wir die Simulationen nutzen, um verschiedene Materialien zu untersuchen und so immer mehr dazuzulernen», sagt Leuthold.

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

In Zellen hineinschauen

Update zum «Werner Siemens Imaging Center» in Tübingen – bildgebende Verfahren



Die Forschenden am «Werner Siemens Imaging Center» in Tübingen haben Erfolg: Sie bringen verschiedene bildgebende Diagnosemethoden zusammen und entwickeln so neue Verfahren, die ein vielschichtiges Bild einer Erkrankung liefern. Dadurch wird es in naher Zukunft möglich sein, den Erfolg unterschiedlicher Therapien individuell für Patientinnen und Patienten vorherzusagen und zu steuern – ein wichtiger Schritt in Richtung personalisierte Medizin.

Krankheiten sind individuell. Wir Menschen sind nicht nur aufgrund unserer genetischen Anlagen und unseres Lebensstils anfällig für unterschiedliche Krankheiten. Patientinnen und Patienten sprechen auch nicht gleich gut auf Therapien an und leiden unterschiedlich stark an Nebenwirkungen. Besonders ausgeprägt ist das bei Krebs. «Jeder Tumor jedes Patienten ist anders, und jede Metastase hat wiederum andere Eigenschaften», erklärt Professor Bernd Pichler, Leiter des «Werner Siemens Imaging Center» (WSIC). Zusammen mit seinen Kolleginnen und Kollegen am WSIC macht er sichtbar, worin diese Unterschiede bestehen und wie sie sich in der Therapie nutzen lassen.

Dazu entwickeln die rund 60 Forschenden am WSIC neue bildgebende Diagnoseverfahren und verknüpfen verschiedene Verfahren miteinander. «So erhalten wir ein ganzheitlicheres Bild einer Erkrankung – und damit ein besseres Verständnis dafür, wie sie bekämpft werden kann», sagt Pichler. An Mäusen untersuchen sie insbesondere Krebs- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen

Die hyperpolarisierte Bildgebung kann Zellen mit einem entgleisten Stoffwechsel – zum Beispiel Krebszellen – mithilfe eines Magnetresonanztomographen in einem frühen Stadium entdecken.

sowie Entzündungsprozesse. Ihre Erkenntnisse aus dem Tiermodell überführen sie in Zusammenarbeit mit dem Uniklinikum Tübingen in die klinische Praxis, sodass sie rasch Patientinnen und Patienten zugutekommen.

Blick in den Stoffwechsel

Eine einzigartige Methode nutzt seit 2019 WSIC-Gruppenleiter Dr. André Martins: die hyperpolarisierte Bildgebung. Damit lassen sich Vorgänge im Stoffwechsel von Zellen im Magnetresonanztomographen (MRT) sichtbar machen. Solche zellulären Prozesse sind bei vielen Erkrankungen entgleist. Der Clou der Methode: Sie verändert den magnetischen Zustand eines Stoffwechsellmoleküls, sodass es im MRT 10 000-mal sichtbar wird. Dadurch ist es einfacher, auch jene Moleküle zu erkennen, die nur in sehr kleinen Mengen vorkommen. Und: Messungen, die zuvor fast vier Tage dauerten, erhält man damit in zehn Sekunden.

Allerdings ist dafür eine besondere Vorbereitung der Moleküle nötig. Ein spezielles Gerät bringt sie in Lösung

innerhalb von Millisekunden auf minus 270 Grad Celsius, von da auf plus 180 Grad Celsius und wieder zurück auf Körpertemperatur. Danach haben die Forschenden nur zwei Minuten Zeit, um die MRT-Messung durchzuführen, bevor der magnetische Effekt wieder verschwindet.

Mit dieser heiklen, aber sehr lohnenden Methode verfolgt Martins mit seinem Team etwa die Umwandlung des Stoffwechsellmoleküls Pyruvat in Lactat. So hat er erste Hinweise darauf entdeckt, dass Ratten, die ein vergleichsweise hohes Risiko für einen Schlaganfall aufweisen, in den anfälligen Gehirnregionen mehr Lactat produzieren als weniger gefährdete Ratten. Diese Beobachtung könnte künftig zur Abschätzung des Schlaganfall-Risikos dienen. Auf eine ähnliche Weise macht das Team in Krebstumoren sichtbar, welche der malignen Zellen einen intensiveren Stoffwechsel haben und aggressiver sind. Für seine Arbeit hat Martins 2020 den renommierten, mit 1,65 Millionen Euro dotierten Sofja Kovalevskaja-Preis erhalten.

Effektivere Immuntherapie

Am intensivsten untersuchen die Forschenden am WSIC die Wirksamkeit der Immuntherapie. Sie gilt seit einigen Jahren als grosse Hoffnung in der Krebsmedizin. Dabei werden körpereigene Immunzellen, die T-Zellen, dazu angeregt, Tumorzellen zielgerichteter anzugreifen. «Die T-Zellen haben eine komplizierte Aufgabe: Sie müssen zum vom Krebs betroffenen Organ gelangen, in das Gewebe eindringen und dort jede einzelne Zelle überprüfen», erklärt WSIC-Gruppenleiterin Dr. Bettina Weigel. Das funktioniert bei manchen Krebsarten und bei manchen Patientinnen oder Patienten gut, doch bei manchen nur teilweise oder gar nicht. «Wir wollen herausfinden, warum das so ist und wie wir auch die bisher resistenten Tumorzellen zerstören können.»

Seit 2019 baut Weigel dazu eine einzigartige Mikroskopie-Infrastruktur auf. Bereits in Betrieb ist das Fluoreszenzmikroskop für Zellkulturen. Damit kann Weigelins Team dem Kampf zwischen Immun- und Tumorzellen quasi live zuschauen. So haben die



Damit der Blick auf den Stoffwechsel von Zellen gelingt, müssen die Forschenden flink sein: Nach zwei Minuten muss die MRT-Messung vorgenommen sein.



WSIC-Gruppenleiter André Martins (stehend) diskutiert im Team die Aufnahmen, die die hyperpolarisierte Bildgebung geliefert hat.

Forschenden beobachtet, dass aggressivere Tumorzellen, die das Gewebe stärker infiltrieren, bisher meist als einzige von den Immunzellen wirksam angegriffen werden.

Noch tiefer gehende Erkenntnisse verspricht sich Weigel künftig von der neuen Mikroskopie-Anlage, die ab Anfang 2021 am WSIC einen ganzen Raum einnehmen wird. Mit diesem sogenannten Intravitalmikroskop lässt sich die Immuntherapie im lebenden Organismus abbilden. Zudem wird das Team damit auch mit infrarotem Laserlicht arbeiten können. Dieses dringt in tiefere Gewebeschichten vor und macht so einen grösseren Teil eines Tumors sichtbar. So werden die Forschenden dann noch besser erkennen, wie Immunzellen betroffene Organe und Gewebe erreichen und welche Tumorbereiche sie wirksam bekämpfen.

Starke Kombination

Zusätzliche Aussagekraft bekommen diese beiden Methoden – die hyperpolarisierte MRT-Bildgebung und die Fluoreszenzmikroskopie –, wenn sie miteinander verknüpft werden. Die

Fluoreszenzmikroskopie liefert Informationen zu den Vorgängen in verschiedenen Geweben – wie Haut, Muskeln, Blutgefässe – und zur Reaktion einzelner Zellen auf eine Therapie. Die hyperpolarisierte MRT-Bildgebung steuert Erkenntnisse zur Anatomie und zu den molekularen Stoffwechselprozessen innerhalb des ganzen Organismus bei. «Es ist ein bisschen wie bei Google Maps», sagt André Martins. «Kombiniert sehen wir die Prozesse aus verschiedenen Blickwinkeln und in verschiedenen Grössenordnungen.»

Individualisierte Krebstherapien

Schon zuvor hatten die Forschenden am WSIC in einem einzigen Gerät die Positronen-Emissions-Tomographie mit der Magnetresonanztomographie kombiniert und dadurch wertvolle Hinweise für eine bessere Behandlung erhalten. Letztlich arbeiten die Forschenden darauf hin, voraussagen zu können, welche Therapieform bei welchen Patientinnen und Patienten am besten wirken wird. Jüngst haben sie ihre Erkenntnisse zur exakten Charakterisierung von Brustkrebs

erfolgreich in einer klinischen Studie mit Menschen getestet. Auch zur Therapie von Darmkrebs laufen derzeit Forschungsarbeiten, erzählt Bernd Pichler: «Auch hier sieht es sehr gut aus.»

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

Hotspots im Untergrund

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

Das Erdinnere hält Energie im Überfluss bereit – doch ist es schwierig, sie zu gewinnen. Denn Tiefenbohrungen sind extrem teuer, das Gestein ist oft instabil oder undurchlässig, heisse Flüssigkeiten können unerreichbar tief fließen, oder ihre Wege sind gänzlich unbekannt. Der Geophysiker Martin O. Saar hat eine innovative Methode entwickelt, wie man die Energie in der Erdkruste gewinnen und gleichzeitig das Klimagas CO₂ versenken könnte.

Wie dicht beziehungsweise wie porös ist die Gesteinsprobe (Mitte)?
Ein neu entwickeltes Röntgengerät macht das Gesteinsinnere sichtbar.

Ein zylinderförmiges, wenige Zentimeter grosses Gesteinsstück, eine Bohrprobe, ist dick in einen robusten, isolierenden Panzer eingepackt. In den Zylinder führen verschiedene dünne Metallröhren. Durch sie können Druck, Hitze oder Flüssigkeiten geleitet werden, die dem Gestein zusetzen, tagelang – als läge es in 10 km Tiefe unter der Erde. Wie die Flüssigkeiten und das Gestein sich dabei verhalten, zeichnet der angeschlossene Rechner minutiös auf.

Die Versuchsanordnung nennt sich «reaktive Transport-Presse»; sie ist eine von drei Versuchseinrichtungen im Labor von Werner Siemens-Stiftungsprofessor Martin O. Saar und seiner fast 30-köpfigen Gruppe Geothermal Energy and Geofluids an der ETH Zürich. Das Labor mit dem langen Namen «Geosystem Reactive Transport (GREAT) Visualization Lab» ist nach fünf Jahren Aufbauarbeit nun vollständig eingerichtet. Aus der Forschung im GREAT Visualization Lab resultierten Doktorarbeiten und viele wissenschaftlichen Papers, die Saars Gruppe in den letzten Monaten in diversen Fachjournalen veröffentlichten konnte.

Den Wasserfluss erfassen

Die Erdkruste besteht hauptsächlich aus festem Gestein. Trotzdem dreht sich bei Saars Experimenten zur Tiefengeothermie letztlich alles ums Fliesen. Die Fliesswiderstände im Gestein sind die grösste Herausforderung für die Forschenden. In ihrem Labor simulieren und berechnen sie, was normalerweise tief unter der Erdoberfläche passiert. So formen sie etwa die Strukturen von Bruchstellen im Gestein in transparenten Gebilden aus dem 3-D-Drucker genauestens nach. Durch die Bruchstellen wird Wasser gepresst, das mit Markern versetzt ist, die unter Laserlicht leuchten und so fotografiert werden können. Die drei hochauflösenden Kameras in diesem Teil des Labors können bis zu 2000 Bilder pro Sekunde aufnehmen. Da sie es gleichzeitig tun, ist es möglich, das Geschwindigkeits-Vektorfeld der Flüssigkeit zu erfassen und anschliessend auf dem eigenen Hochleistungscomputer zu berechnen.

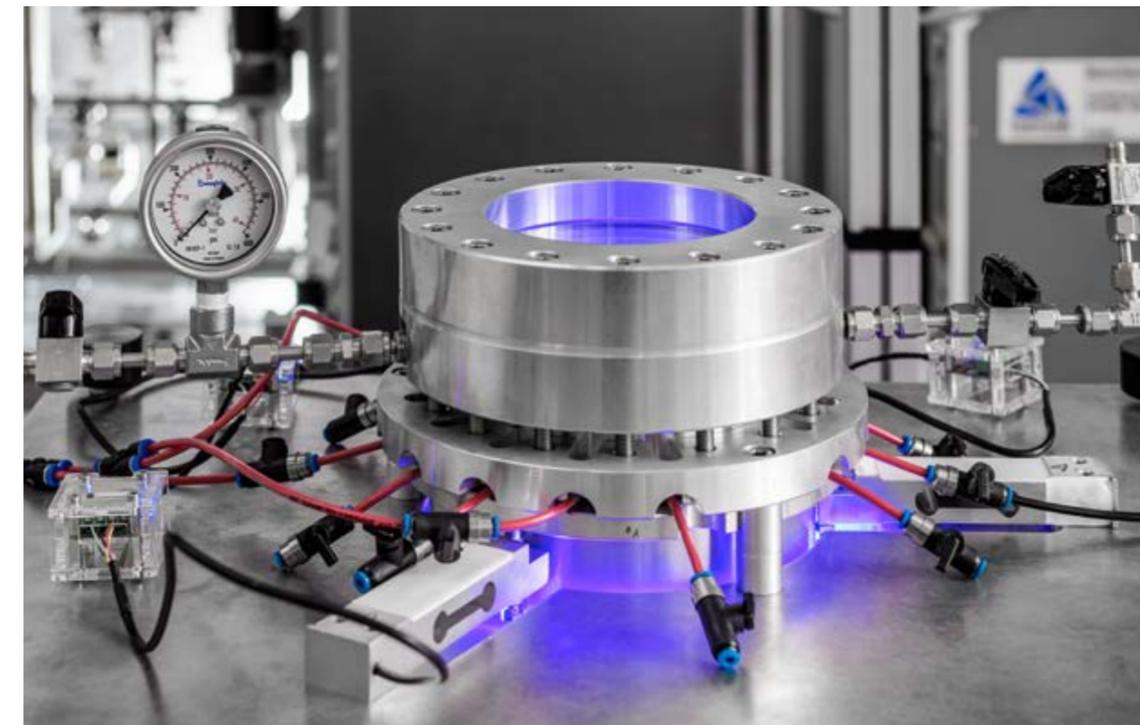
Visualisieren in 3-D

Bleiwände schirmen den neuesten Laborteil ab. Dort führt die Saar-Gruppe

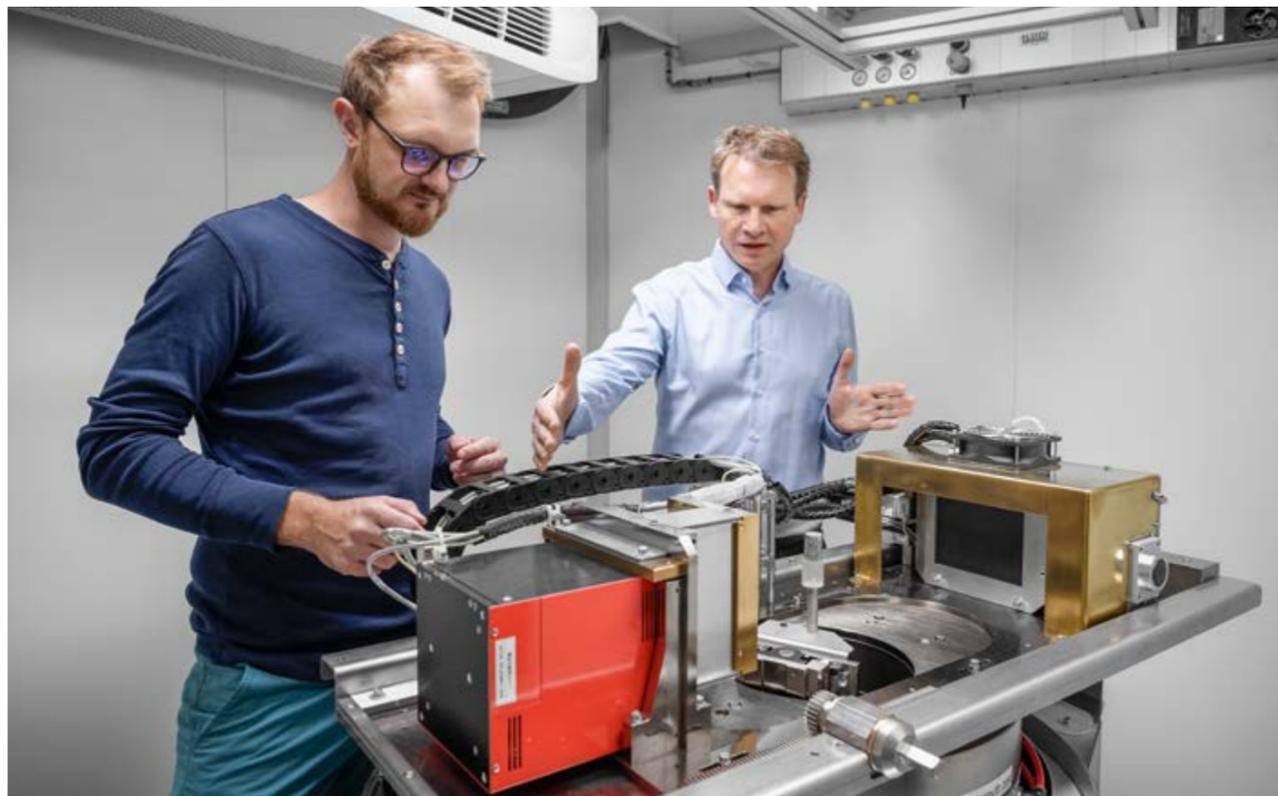
ihre reaktiven Transport-Experimente durch. Den Röntgenstrahl-Computertomografen nutzt sie, um Gesteinsauflösungen und Mineralausfällungen, wie sie häufig im Untergrund bei der geothermischen Energiegewinnung auftreten, dreidimensional zu visualisieren. Die 3-D-Bilder des Tomografen können ebenfalls vom 3-D-Drucker geformt und anschliessend den Laser-illuminierten Experimenten unterzogen werden. «Dank des GREAT Visualization Lab können wir den reaktiven Transport von Geofluiden im Untergrund detailgenau darstellen. Das ist weltweit einzigartig», betont Martin O. Saar. Die Forschenden entwickeln dazu eigene Computerprogramme zur Modellierung. Und sie sind auch in der Lage, die Computersimulationen zu testen und sie auf die Grösse von realen geologischen Reservoiren hochzurechnen.

Initialstudie im Aargau

Ein Teil der Forschenden ist aber auch im Feld unterwegs, um Untergründe auszuloten. Bisher hat die Gruppe bereits in Äthiopien, in der Mongolei und aktuell im schweizerischen Aargau



Wie durchlässig ist ein Riss (im Fachjargon: eine Kluft) im Gestein? Mit der neuesten Eigenentwicklung kann diese zentrale Frage der Geothermie nun exakt beantwortet werden.



Um möglichst scharfe Aufnahmen des Gesteinsinnern zu erhalten, ist die Probe fix montiert und der Röntgenapparat dreht sich darum herum. Der technische Laborleiter Nils Knornschild (links) und der Projektleiter Martin O. Saar haben den Röntgenstrahltomographen zusammen mit der Firma SCANCO Medical entwickelt.

buchstäbliche Hotspots entdeckt: Das sind Bereiche in der Erdkruste, wo heisses Wasser relativ nah fliesst, etwa 1 bis 2 km unter der Erdoberfläche. Dort werden die elektrischen Ströme im Untergrund mit der geophysikalischen Methode der Magnetotellurik gemessen. So lässt sich herausfinden, wie gut die Porenräume des Gesteins miteinander verbunden sind, welche Flüssigkeit durch den Untergrund strömt und wo leitfähige Zonen sind. «Die Initialstudie im Aargau ist vielversprechend. Es ist aber nicht leicht, in dicht besiedelten Gebieten die elektromagnetischen Wellen richtig zu deuten», räumt Saar ein. Für die Messungen werden die elektromagnetischen Felder genutzt, die durch Sonnenwinde entstehen oder durch Blitze von heftigen Gewittern am Äquator – sie sind bis in den Aargau messbar. In dicht besiedelten Gebieten stören oft elektrische Leitungen solche Messungen. Doch das Team von Saar hat in Zusammenarbeit mit einer weiteren Forschungsgruppe an der ETH Zürich eine Software entwickelt, die den elektromagnetischen «Lärm» in der Atmosphäre rechnerisch zum Teil eliminieren kann.

CO₂ «versenken»

Mit der Erforschung von Grundlagen allein geben sich die Mitarbeitenden von Martin O. Saar nicht zufrieden. Sie wollen auch wissen, wie sich ihre Erkenntnisse sinnvoll unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten anwenden lassen. Eine solche Anwendung wird gegenwärtig im grössten Projekt von Martin O. Saar geplant. Dabei wird CO₂ als besonderes Geofluid durch den Untergrund geleitet, um die Wärme in der Tiefe in einem geschlossenen Kreislauf nach oben zu transportieren. Das Grossprojekt wurde in zehn Jahren Forschungsarbeit vorbereitet, davon die letzten drei Jahre auch zusammen mit dem Siemens-Konzern. Das Projekt könnte schon bald vor dem Realitätstest stehen. «CO₂-Emissionen zu reduzieren, ist eine der grössten Hoffnungen der Menschheit angesichts des Klimawandels», sagt Saar. Die Forschenden verhandeln zurzeit mit den Verantwortlichen eines CO₂-Speicherprojekts in Kanada, bei dem bereits 350 000 Tonnen CO₂ eines Kohlekraftwerks abgeschieden und in 3,2 km Tiefe eingespeichert wurden. Dort

liesse sich die von Saar entwickelte CO₂-nutzende Technologie erstmals testen. Die Effizienz der geothermischen Stromproduktion könnte sich mit dem Geofluid CO₂ – verglichen mit Wasser – verdoppeln, so Saar. Und ökologisch wäre das Ganze auch, weil das CO₂ permanent im Untergrund bliebe. Martin O. Saar ist überzeugt: «Die Menschheit wird auf solche Technologien in Zukunft angewiesen sein, wenn sie die Erderwärmung stoppen und gleichzeitig Strom erzeugen möchte.»

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
10 Mio. Schweizer Franken

Projektleitung

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

Projektdauer
2014–2021

Hammerbohrungen

Update Tiefengeothermie im Bedretto-Untergrundlabor in den Schweizer Alpen

Nach gut einem Jahr ist das Bedretto-Untergrundlabor betriebsbereit. Was sich so einfach anhört, war ein gewaltiger Kraftakt von Mensch und Maschine. Nun steht die Infrastruktur – die Experimente zur Tiefengeothermie können beginnen.

«Es gab schon Überraschungen», sagt Bedretto-Untergrundlabor-Manager Dr. Marian Hertrich nach dem ersten Jahr. Die grösste Überraschung zeigte sich gleich zu Beginn. «Wir hatten 150 m in den Granit gebohrt, und es war kein Tropfen Wasser herausgekommen. Alles kompakter Granit.»

In kompaktem Granit funktioniert die Tiefengeothermie nicht. Denn um die Wärme im Erdinnern zu nutzen, werden Störzonen mit feinen Spalten und Rissen, sogenannten Klüften, benötigt, in die man Wasser pumpen kann.

Ein Jahr später sind die wichtigsten Bohrlöcher im Bedretto-Untergrundlabor fertiggestellt. Die Bauarbeiter stiessen an anderen Stellen im Untergrundlabor dann doch noch auf zerklüftete Zonen. Mittlerweile schätzt Hertrich die geologische Situation im Bedretto-Untergrundlabor sogar als «perfektes Spielfeld» für die Experimente zur Tiefengeothermie ein. Die Bohrlöcher durchstossen nämlich unterschiedliche geologische Zustände von Granit: kompakt, zerklüftet oder zerrieben. Dank dieser Ausgangslage können die Forschenden Experimente

in allen Granitvorkommen, die es in der Schweiz gibt, durchführen.

Bohrlöcher für die Experimente

Für die Experimente wurden zwei grosse Bohrlöcher vorgesehen. Beide sind 20 cm breit und reichen 350 m sowie 400 m in die Tiefe. «400 m sind tiefer als geplant», freut sich Domenico Giardini, Projektleiter und Professor für Seismologie und Geodynamik an der ETH Zürich. Um die grossen Bohrlöcher herum wurden vier Kontrollbohrlöcher gebohrt, in denen Hunderte von Sensoren installiert wurden. Die Sensoren messen während der Experimente in den grossen Bohrlöchern sämtliche Auswirkungen wie seismische Bewegungen im Gestein, Schallwellen, Druck, Temperatur, Wasserfluss und vieles mehr. Zwei weitere Kontrollbohrlöcher sollen noch dazukommen.

Für die Herstellung der Kontrollbohrlöcher wurde ein neueres Hammerbohrverfahren namens Wassara eingesetzt. Die Erprobung von Wassara war Teil des internationalen Technologieprojekts ZoDrEx (Zonal Isolation, Drilling and Exploitation), bei dem es



Trotz der Covid-19-Pandemie konnte das Bedretto-Untergrundlabor 2020 fertiggestellt werden. Forschungsgruppen aus aller Welt werden darin Experimente zur Tiefengeothermie durchführen.

darum geht, die besten Bohrsysteme für die Tiefengeothermie zu testen. Wassara arbeitet mit einem wasserbetriebenen Hammer, dessen Schläge das Gestein gezielt zertrümmern, und nicht wie bisher üblich mit einem rotierenden Bohrkopf.

Die gebohrten und mit Sensoren versehenen Kontrolllöcher im Bedretto-Untergrundlabor wurden anschliessend mit Zement aufgefüllt. Damit schuf man ein kompaktes Felsvolumen von 400 m Tiefe, das in etwa die gleiche Härte, Wasserdurchlässigkeit, Steifigkeit und Porosität aufweist wie der Granit rundherum. «So merkt der Felsen nicht, dass er durchlöchert und voll von Sensoren ist, und verhält sich bei den Experimenten so, als wäre er unversehrt», erklärt Projektleiter Domenico Giardini.

Das Labor ist bereit

«Offiziell starten die ersten richtigen Experimente zur Tiefengeothermie Anfang Oktober 2020», erzählt Domenico Giardini im August. «Rund dreissig Expertinnen und Experten aus dem In- und Ausland werden zugegen sein, im Tunnel oder vor den vielen

Monitoring-Bildschirmen. Nach dem Check aller Instrumente und des Netzwerkes werden wir den Granit stimulieren, also Wasser mit Druck ins Gestein pressen, und messen, wie die Risse und Spalten entstehen.»

In mittlerer Tiefe

Die ersten Experimente sollen unter anderem herausfinden, ob das Gestein auf eine Stimulation in 1400 m Tiefe gleich reagiert wie auf eine Stimulation in geringerer Tiefe. Denn mittlerweile setzt man in der Schweiz nicht mehr unbedingt auf Tiefengeothermie-Kraftwerke, die Hitze aus 5000 m Tiefe in Strom umwandeln. Praktikabler scheinen Wärmereservoirs in einer mittleren Tiefe von 1500 m zu sein. In diese kann im energiereichen Sommer Wasser gepumpt werden, das sich im Untergrund erwärmt und dann im energiearmen Winter genutzt wird, wenn der Wärmebedarf hoch ist. «In den Kantonen Bern und Genf sind bereits solche Energiespeicher für die Städte geplant», berichtet Projektleiter Domenico Giardini. «Die Wärmespeicherung in mittlerer Tiefe hat den Vorteil, dass man nicht in die

5000 m tiefen Zonen vordringt, wo Erdbewegungen natürlicherweise vorkommen und alles schwer zu kontrollieren ist.» Hinzu komme, dass in der Schweiz mehr als 50 Prozent der Energie in Form von Wärme gebraucht werde, vor allem zum Heizen, so Giardini. «Wir brauchen deshalb die Wärme nicht zuerst in Strom umzuwandeln, sondern können sie direkt nutzen. Das wird sich in Zukunft durchsetzen.»

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
12 Mio. Schweizer Franken

Projektleitung

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

Projektdauer
2018–2024

Kostbare DNA aus der Frühzeit

Update Paläobiotechnologie am Forschungsplatz Jena – prähistorische antibakterielle Naturstoffe gewinnen



Handelt es sich bei einem Krümel um prähistorischen Zahnstein mit kostbarer DNA oder nur um ein Stückchen zeitgenössischer Erde von der Fundstelle? Eine Software wird diese Frage schon bald zuverlässig beantworten können.

Der vor einem Jahr neu gegründete Forschungsbereich Paläobiotechnologie in Jena entwickelt sich gut. Die Suche der Forschenden nach uralten Wirkstoffen, die das Potenzial haben, heutige resistente Bakterien zu bekämpfen, wurde bis nach Ozeanien ausgedehnt.

Pierre Stallforth und Christina Warinner etablieren gemeinsam einen neuen Fachbereich – die Paläobiotechnologie. Der Biotechnologe und die Archäologin sind in ihrem Fachgebiet führend. Dr. Christina Warinner ist Professorin am Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte und an der Harvard University und hat sich auf die Analyse alter DNA spezialisiert. Dr. Pierre Stallforth widmet sich in seiner Forschung am Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie der Analyse und Synthese von Naturstoffen. Gemeinsam wollen sie am Forschungsplatz Jena dazu beitragen, ein dringendes Problem der Menschheit zu lösen – Antibiotikaresistenzen.

Die Paläobiotechnologie erlaubt es, diese Herausforderung auf gänzlich neue Art anzugehen. Die Forschenden suchen in der Frühzeit des Menschen nach Stoffen, die gegen heutige Bakterien wirken, bei denen Antibiotika nicht mehr anschlagen. Sie wollen die Krankheitskeime mit Wirkstoffen überraschen, die in der Natur heute nicht mehr vorkommen – entsprechend haben die Bakterien keine Abwehrstrategie dagegen.

Uralte DNA

Finden lassen sich die prähistorischen Wirkstoffe an Zahnmaterial aus der Frühzeit. Nirgendwo sonst ist so viel gut erhaltenes Erbgut konserviert wie in Zahnstein. Darin sind Nahrungsreste ebenso zu finden wie die Überreste unzähliger Bakterienarten. Bakterien haben schon immer antibiotische Stoffe produziert, etwa um sich gegen Nahrungskonkurrenten zu wehren. Deshalb sind im Erbgut prähistorischer Bakterien auch DNA-Abschnitte zu finden, die für die Produktion solcher Wirkstoffe zuständig waren. Diese DNA-Abschnitte wollen die Forschenden identifizieren und im Labor ins Erbgut heutiger Bakterien einbauen. Als Grundlage für ihre Arbeit dient dabei die Sammlung von Tausenden archäologischen Funden am Max-Planck-Institut für Menschheitsgeschichte in Jena.

Gegenseitiges Verständnis

Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt das innovative Vorhaben mit einer Finanzierung bis 2029. Im ersten Projektjahr konnten sich die Teams gerade noch rechtzeitig vor dem Covid-19-Lockdown zu einem Kick-off-Retreat treffen. Wie forscht eine Archäologin? Wie arbeitet ein Biotechnologe? Zahlreiche Videokonferenzen dienten anschliessend dazu, bei allen Beteiligten ein Verständnis für das jeweils andere Fachgebiet zu schaffen. «Das war wichtige Grundlagenarbeit, um die neue Disziplin Paläobiotechnologie zu etablieren», sagt Projektleiter Pierre Stallforth.

Schlaue Software

Dass die Labors auch an den Forschungsinstituten in Jena wegen der Covid-19-Pandemie fast zwei Monate lang geschlossen werden mussten, behinderte das Projekt kaum. Die Forschenden legten den Schwerpunkt 2020 auf die Bioinformatik. Sie begannen, bestehende Software zu verbessern, um die DNA-Sequenzen aus dem Zahnstein optimal analysieren zu können. Die Software muss zum Beispiel gut erkennen können, ob tatsächlich prähistorisches Erbgut vorliegt oder nur ein Erdkrümel der Fundstelle. Zudem soll die Bioinformatik Hinweise geben, welche Erbgut-schnipsel aus der DNA für die Kodierung von antibiotischen Wirkstoffen zuständig sind. Bis Anfang 2021 sollen die Software-Instrumente vorliegen.

Den Forschenden kommt dabei entgegen, dass die Bioinformatik sich derzeit unter anderem dank künstlicher Intelligenz enorm schnell entwickelt.

Zahnstein aus aller Welt

Mehr als 200 neue Zahnfunde von Museen und archäologischen Projekten aus aller Welt konnte das Team im ersten Projektjahr hinzugewinnen. «Das Erbgut ist zum Teil sogar besser erhalten, als wir uns erhofft haben», sagt Christina Warinner. Waren Funde aus Europa und Asien schon bisher in ihrer Sammlung gut vertreten, so sind im vergangenen Jahr zahlreiche Proben aus Ozeanien hinzugekommen. «Es ist wichtig, eine breite globale Abdeckung von Funden zu haben, um eine hohe Diversität auch im Erbgut der Bakterien zu erhalten», sagt die Archäologin. Aus der Analyse des prähistorischen Erbguts resultierten im Jahr 2020 mehrere Publikationen, etwa zur Evolution des oralen Mikrobioms in den vergangenen 100 000 Jahren.

Züchten und testen

Im weiteren Verlauf des Projekts wird das Forschungsteam die aussichtsreichsten Wirkstoffkandidaten aus den Zahnsteinfunden identifizieren. Dann gilt es, die entsprechenden DNA-Abschnitte biotechnologisch in heutige Laborbakterien einzufügen und in Fermentoren zu züchten. Die so gewonnenen antibiotischen Stoffe können anschliessend auf ihre Wirksamkeit gegen die gängigsten multiresistenten Bakterien getestet werden. Bis 2029 wollen die Forschenden der Pharmaindustrie interessante Kandidaten für neuartige Antibiotika vorgelegen können.

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

Projektdauer
2020–2029

Wer wir sind

Dame von Welt

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

Nora Füssli, geboren 1874, verzauberte schon in jungen Jahren mit ihrer Schönheit und ihrem gewinnenden Wesen die Männerwelt. Sie war gebildet, hatte perfekte Umgangsformen und liebte das Musizieren. Zwei ihrer vier Ehemänner teilten ihre Hingabe an die Musik – beide stammten aus der Siemens-Dynastie. Kurz vor ihrem Tod 1941 vermachte Nora von Siemens, geborene Füssli, ihr grosses Vermögen der Werner Siemens-Stiftung – und wurde dadurch eine bedeutende Zustifterin.

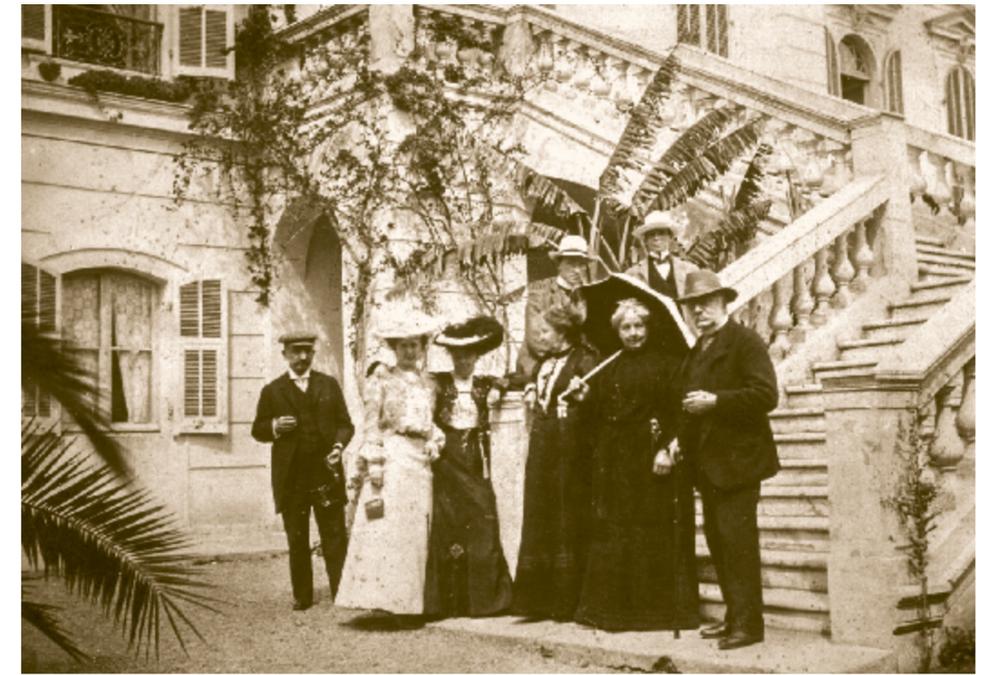
Noras Vater, Wilhelm Heinrich Füssli, stammte aus einem alten Zürcher Geschlecht, das bis ins 13. Jahrhundert nachweisbar ist. Die Füsslis hatten sich über viele Generationen zu einer wohlhabenden Geschützgiesserei-Dynastie entwickelt. Doch Wilhelm Heinrich Füssli verliess das zwinglianische Zürich, um Porträtmaler zu werden.¹

Ganz anders Noras Mutter Emma von Möllenbeck. Sie war katholisch und stammte mütterlicherseits aus einem alten deutschen Adelsgeschlecht. Vor ihrer Hochzeit war sie mit Leib und Seele Hofdame bei Grossherzogin Maria Maximilianowna, auch kaiserliche Hoheit Prinzessin Wilhelm genannt, nach ihrem Gatten, dem Prinzen Wilhelm von Baden.

Vater Künstler, Mutter adlig

Im Frühjahr 1869 lernten sich Noras Eltern kennen. Obwohl beide schon älter waren, verliebten sie sich heftig ineinander und heirateten noch im gleichen Jahr. Nach fünf Jahren bekamen sie ihr einziges Kind, Anna Eleonora, die alle nur Nora nannten.

Doch mit dem gemeinsamen Kind traten die unterschiedlichen Lebensauffassungen stärker hervor. Noras Vater floh vor dem Familienleben in Karlsruhe und zog seinen Aufträgen als Porträtmaler nach, oft nach Rom, gelegentlich in die Schweiz. Noras Mutter fühlte sich mit ihrer kleinen Tochter alleingelassen und sehnte sich nach ihrem früheren Leben am Hof. 1890 trennten sich Noras Eltern, jedoch ohne sich scheiden zu lassen. Nora war damals 16 Jahre alt und lebte fortan mit ihrer Mutter in Karlsruhe und in Baden-Baden, wo sie oft zusammen gesellschaftliche Anlässe wie Dinners, Tee-Gesellschaften und Opernaufführungen besuchten. Ihre



Nora (im weissen Kleid) fühlte sich der Familie Siemens verbunden, auch nachdem ihr erster Ehemann Werner Hermann verstorben war. Bei ihren Besuchen lernte sie Werner Ferdinand von Siemens (obere Reihe, links) über die Jahre besser kennen – und lieben.

Mutter hoffte auf eine gute Partie für Nora, und in der Tat hinterliess die mittlerweile knapp 20-Jährige «stets grossen Eindruck, vor allem bei den Herren»². Bei einer Soirée lernte sie Werner Hermann von Siemens kennen, der eine unglückliche Ehe hinter sich hatte und zurückgezogen lebte. Beide liebten die Musik und so musizierten sie bereits beim zweiten Treffen zusammen: «Werner Hermann spielte auf seiner Stradivari und Nora begleitete ihn sehr temperamentvoll»³ am Flügel. Herr von Siemens «fasste in unbegreiflicher Schnelle eine lebhaftige Zuneigung zu Nora, die auch sehr bald Erwidderung fand»⁴. 1895, nur wenige Wochen nach dem Kennenlernen, heirateten sie. Nora war 21 Jahre alt.

Ehe mit Werner Hermann von Siemens

Werner Hermanns Vater war Carl von Siemens, Bruder von Siemens-Gründer Werner. Bei der Hochzeit erhielt Werner Hermann von seinem Vater 25 000 Mark Leibrente, Nora von ihrem Vater 6000 Mark jährlich, was den beiden ein sorgenfreies Leben bescherte. Der Nachlass wurde bereits bei der Eheschliessung geregelt: Würde Werner Hermann als Erster sterben, würde Nora «die lebenslängliche cautionsfreie Nutzniessung an seinem Nachlasse» erhalten, sofern sie sich nicht wieder verheiratete.

Nora und Werner Hermann lebten sommers im hochherrschaftlichen Palais Biron in Baden-Baden und winters in St. Petersburg. Sie richteten sich ein grosszügiges Musikzimmer ein, in dem sie so manches Hauskonzert gaben. 1896 bekam das Ehepaar einen Sohn, Werner Wilhelm Carl. Nicht nur die Eltern waren überglücklich, auch Grossvater Carl von Siemens freute sich sehr über den Namensträger. Doch

das Glück war von kurzer Dauer. Der kleine Junge starb mit zwei Jahren und zwei Jahre später, im Sommer 1900, verschied auch Werner Hermann im Alter von 44 Jahren an einer nicht behandelten Blinddarmentzündung. Wäre er in Deutschland erkrankt, wäre Werner Hermann wohl operiert und damit gerettet worden, mutmasste Noras Mutter in einem Brief⁵.

Charlotte, Marie und Nora

Nach dem tragischen Verlust verliess Nora Deutschland und zog nach Rom. blieb aber ihrem Schwiegervater Carl von Siemens und ihren Schwägerinnen Charlotte von Buxhoeveden und Marie von Graevenitz verbunden, die rund zwanzig Jahre später, 1923, die Werner Siemens-Stiftung gründeten.

Den Frühling 1904 verbrachte sie im milden Klima von San Remo. Dort begegnete sie dem persischen Prinzen Freydoun Malcom Khan, der stets bei offiziellen Anlässen zugegen war und den auch Carl von Siemens kannte.

Des Prinzen Reize

Nora hatte ein Faible für das Orientalische und verfiel schon bald dem attraktiven Freydoun – und wohl auch seinem Prinzentitel. 1905 heirateten sie in Berlin. Erneut ging es danach gleich zum Notar, um das ungleiche Vermögen der Eheleute zu regeln. Nora verfügte über 80 000 Francs jährliche Lebensrente von der Siemens'schen Vermögensverwaltung, der Prinz nur über 3000 Francs, daher wurde eine vollständige Gütertrennung beschlossen. Das Ehepaar zog nach Rom, wo sie in der Hautevolee verkehrten. Doch Nora wurde mit ihrem Prinzen nicht glücklich. Freydoun gab ihr Geld skrupellos aus, es kam zur Scheidung.



Nora von Siemens (Mitte) um 1898 mit ihrem ersten Ehemann Werner Hermann von Siemens und ihrer Schwägerin Marie Baronin von Graevenitz, geb. Siemens. Marie wird 1923 mit ihrer Schwester Charlotte die Werner Siemens-Stiftung gründen.

Spionageverdacht

Nach der Scheidung nannte sich Nora wieder «von Siemens». Sie blühte auf und begann, in ihrem Haus in Rom einen Salon zu führen, wo sich Würdenträger des Quirinalspalastes und des Vatikans, Abgeordnete und hochrangige Militärs trafen. Nicht wenige davon machten Nora den Hof. Doch mit dem gesellschaftlichen Erfolg kamen auch die Neider. Durch unglückliche Umstände wurde sie mehrfach der Spionage verdächtigt. Es gab Herren, die gegen Nora hetzten, und solche, die ihre Unschuld verteidigten. Die Grabenkämpfe erfassten selbst die italienische Kammer, es kam zu wüsten Szenen unter den Abgeordneten, Prügeleien und 1910 gar zu einem Duell: General Luigi Fecia di Cossato trat zu Noras Verteidigung mit dem Degen an – und unterlag. Nora reiste sogleich zu ihm, um ihn gesundzupflegen – und zu heiraten. Elf Jahre lang führte Nora mit dem 33 Jahre älteren General ein ruhiges, zufriedenes Eheleben, bis er 1921 mit 80 Jahren starb.

Der Familie Siemens verbunden

Nora war 47 und bereits zum zweiten Mal Witwe. Wieder fand sie bei der Familie Siemens Halt. Neben Carl von Siemens, Charlotte und Marie fühlte sie sich auch mit Werner von Siemens' Söhnen Arnold und Wilhelm und deren Familien verbunden.

Bei ihren Besuchen traf sie auch immer wieder Wilhelms Sohn Werner Ferdinand von Siemens. Der Enkel von Firmengründer Werner von Siemens war elf Jahre jünger als Nora, hatte Elektrotechnik studiert und war mit 25 Jahren ins Unternehmen Siemens & Halske eingetreten. Im gleichen Jahr heiratete er das erste Mal, liess sich aber fünf Jahre später wieder scheiden.

Erfüllte Jahre

Anfang der 1920er-Jahre standen er und Nora in sehr engem Kontakt. Nora lebte wieder in Berlin und war noch immer eine attraktive, fröhliche Frau. Werner Ferdinand liebte Musik, spielte ausgezeichnet Klavier und dirigierte mit grosser Leidenschaft – 1923 in der Berliner Philharmonie. Wenige Wochen danach mietete Werner Ferdinand am Luganer See eine Villa, und Nora liess ihre Möbel dorthin bringen. Kurz darauf heirateten sie. Doch das gesellschaftliche Leben in Lugano liess zu wünschen übrig. 1925 zogen sie zurück nach Berlin in das Herrenhaus Correns mit Parkanlage und Tennisplatz. Berlin war zu dieser Zeit eine pulsierende Metropole mit ungezählten Möglichkeiten, Intellektuellen, Künstlern, Diplomaten und anderen illustren Persönlichkeiten zu begegnen.

Grosse Klasse in den wilden 20ern

Nora genoss das Berlin der wilden 1920er-Jahre in vollen Zügen. Doch das bestimmende Element in Werner Ferdinands und Noras Leben war die Musik. Dank seiner besten Kontakte zu Berlins Musikwelt konnte er seiner Leidenschaft, dem Dirigieren, auch öffentlich nachkommen. 1928 luden sie mehr als 400 Gäste zu einem Orchesterkonzert in ihr Herrenhaus ein. Nora organisierte und kümmerte sich um die Gäste, Werner Ferdinand dirigierte. Danach gab es ein grosses Buffet und Tanz, und die ganze Nacht konnte man löffelweise Kaviar essen und französischen Champagner trinken. «Nach langen Jahren wieder einmal ein Privatfest von grosser Klasse», schrieb ein Gast⁶. Auch das Theater und die Lichtspielhäuser, wie man die

Kinos damals nannte, wurden von beiden geliebt. Die Stummfilme wurden mit Livemusik untermalt, unter anderem mit Kinoorgeln. Diese faszinierten Werner Ferdinand besonders, und da Siemens mittlerweile ein Imperium mit vielen Millionen Umsatz und Tausenden von Mitarbeitenden war, leistete er sich 1929 für 357 000 Reichsmark eine viermanualige Wurlitzer-Orgel, die er in seinen privaten Konzertsaal stellte, umrahmt von vier grossen Konzertflügeln. Zur feierlichen Einweihung der Wurlitzer-Orgel erklang nicht nur Wagners «Meistersinger-Ouvertüre», dirigiert von Werner Ferdinand, sondern auch Tanzmusik und Jazz. Auch dieses Konzert war ein gesellschaftliches Ereignis der Extraklasse, an dem sich nationale und internationale Prominenz einstellte.

Teure Orgel, schnelle Autos

Von 1919 bis 1927 war Werner Ferdinand Bevollmächtigter der Protos-Automobil GmbH, die Siemens übernommen hatte, dann aber wieder verkaufte. Er liebte Autos und liess sich selbst nach einer Kollision mit einem Bierlastwagen nicht von seiner Leidenschaft abhalten. Im roten Maybach fuhr er mit Nora unbesorgt bis nach Bayreuth zu den Festspielen, nach Baden-Baden ins Kurhaus und ins Casino, ja sogar bis nach Monte Carlo, wo 1929 der erste Grand Prix von Monaco stattfand. Werner Ferdinand hätte sich von Haus aus eigentlich um die Firma kümmern sollen, schrieb 1932 ein Reporter des Lokalanzeigers, doch der Siemens-Enkel interessierte sich nicht dafür, er verabscheute Mathematik, liebe Wagner und Brahms – und Autos aller Art⁷.

Werner Ferdinands drei Kinder aus erster Ehe wurden nach und nach erwachsen. Sohn Peter stieg 1934 bei Siemens & Halske ein, Tochter Irene heiratete 1936 den Grossunternehmer Oskar R. Henschel (Lokomotiven, Lastwagen, Omnibusse, Flugzeuge), Sohn Carl Wilhelm studierte Nationalökonomie. Im Mai 1937 konnte Werner Ferdinand noch mit Nora seinen ersten Enkel besuchen. Im Juli starb er mit 52 Jahren an einem Tumor in fortgeschrittenem Stadium.

Das Ende naht

Vierzehn Jahre lang war Nora mit Werner Ferdinand glücklich verheiratet gewesen. Nach seinem Tod lebte sie ruhiger und privater. Nora war mittlerweile 65 und hatte gesundheitliche Probleme. Am 19. Juli 1939 schrieb sie ihr Testament, in dem sie ihr gesamtes Vermögen der Werner Siemens-Stiftung in der Schweiz vermachte. Ihre letzten Jahre verbrachte sie in München in Hotels, zusammen mit ihrem langjährigen Diener und ihrer Zofe. Am 19. Februar 1941 schloss Nora von Siemens, geborene Füssli, für immer die Augen – luxuriös und stilvoll, wie sie gelebt hatte. Sie soll auch in den letzten Stunden noch ihren Schmuck getragen haben.

¹ Yvonne Gross und Ludwig Scheidegger: Nora Füssli, herausgegeben von der Werner Siemens-Stiftung, Thomas Helms Verlag, Schwerin, 2018. Seite 16

² Gross/Scheidegger, 2018, S. 62

³ Gross/Scheidegger, 2018, S. 76

⁴ Gross/Scheidegger, 2018, S. 77

⁵ Gross/Scheidegger, 2018, S. 84

⁶ Gross/Scheidegger, 2018, S. 146

⁷ Gross/Scheidegger, 2018, S. 152

Gremien

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.

Gerd von Brandenstein
Vorsitzender
Berlin, Deutschland

Oliver von Seidel
Mitglied
Düsseldorf, Deutschland

Dr. Christina Ezrahi
Mitglied
Tel Aviv, Israel

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, das den Stiftungsrat in der Projektfindung unterstützt. Die Wissenschaftlichen Beiräte haben die Aufgabe, die Qualität eingegangener Gesuche zu prüfen und neue unterstützenswerte Projekte zu finden, die den Förderkriterien der Werner Siemens-Stiftung entsprechen. Bei Bedarf werden zusätzliche externe Expertinnen und Experten hinzugezogen, um das Potenzial eines neuen innovativen Projekts richtig einschätzen zu können. Fällt die Begutachtung positiv aus, wird dem Stiftungsrat empfohlen, das Projekt zu unterstützen.

Die Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats werden auf den folgenden Seiten vorgestellt.



Der Wissenschaftliche Beirat der Werner Siemens-Stiftung: (v.l.) Prof. Dr. Peter Seitz, Prof. Dr. Bernd Pichler, Prof. Dr. Gerald Haug, Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Matthias Kleiner, Gianni Operto, Vorsitzender.

Wissenschaftlicher Beirat



Gianni Operto

Vorsitzender

Präsident der Dachorganisation der Wirtschaft für erneuerbare Energien und Energieeffizienz (AEE Suisse); Inhaber Operto AG für Cleantech-Consulting, Ebmatingen, Schweiz

Gianni Operto hat sich auf innovative Techniken erneuerbarer Energien, ihre Heranführung an Marktanwendungen und den Geschäftsaufbau spezialisiert. Er studierte an der ETH Zürich Maschinenbau und ergänzte sein Studium mit einer Management-Weiterbildung an der London Business School. Zuerst arbeitete er für ABB in zahlreichen Ländern. Als er zum Elektrizitätswerk der Stadt Zürich wechselte, führte er dort Mitte der 1990er-Jahre erfolgreich eine Businessstrategie ein, die auf Energieeffizienz und erneuerbare Energien setzte. Danach wechselte er in den Finanzbereich. Er gründete die Nextech Venture AG mit, die Jungunternehmen im Bereich Energie und Umwelt mit Kapital und Know-how unterstützt, und baute die SAM Private Equity mit auf. Bei Good Energies übernahm er den Investitionsbereich «Zukunftstechnologien». Seit 2011 betreibt er seine eigene Cleantech-Beratung. Er ist Mitglied in diversen Verwaltungs- und Beiräten, unter anderem beim Leitungsausschuss des Swiss Competence Center for Energy Research und bei den Start-ups greenTEG und NexWafe.



Prof. Dr. Gerald Haug

Mitglied

Präsident der Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale), Deutschland; Direktor am Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, Deutschland; Professor an der ETH Zürich, Schweiz

Gerald Haug ist Klimaforscher, Geologe und Paläo-Ozeanograph. Er erforscht die Entwicklung des Klimas der letzten Jahrtausende bis Jahrmillionen, die Ursachen von Klimaveränderungen, die Dynamik des Klimasystems und die Wechselwirkungen zwischen Klima und historischen Hochkulturen. 2020 wird Gerald Haug zum Präsidenten der «Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften» gewählt, in der er seit 2012 Mitglied ist. Die Leopoldina vereint 1600 Forschende mit besonderer Expertise aus über 30 Ländern. Seit 2007 ist er ordentlicher Professor für Klimageologie am Departement Erdwissenschaften der ETH Zürich, wo er habilitiert hat. Seit 2015 ist er auch Direktor der Abteilung Klimageochemie am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz und wissenschaftliches Mitglied der Max-Planck-Gesellschaft. Er ist Vorsitzender bzw. Mitglied in Gremien wie dem Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e. V. und dem Swiss Polar Institute. Haug erhielt zahlreiche Auszeichnungen.



Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Matthias Kleiner

Mitglied

Präsident der Leibniz-Gemeinschaft, die 96 eigenständige Forschungseinrichtungen umfasst, Berlin, Deutschland

Matthias Kleiner ist habilitierter Maschinenbauingenieur, mit Fokus auf Umformtechnik und Leichtbau sowie deren digitale Methodik. 1994 gründete er den Lehrstuhl für Konstruktion und Fertigung an der BTU Cottbus und war dort Prorektor. 1997 erhielt er den Leibniz-Preis der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). 1998 wechselte er an die TU Dortmund, baute dort das sehr erfolgreiche Institut für Umformtechnik und Leichtbau auf und war Dekan der Fakultät Maschinenbau. 2007 wurde er hauptamtlicher Präsident der DFG. Er war Mitgründer von Science Europe und dem Global Research Council und Mitglied im Scientific Council der Europäischen Forschungsförderung ERC. 2011 leitete er die Ethikkommission für eine sichere Energieversorgung Deutschlands. Er ist Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen Akademien und wissenschaftlichen wie unternehmerischen Gremien und Beiräten sowie Juror und Gutachter für Forschungsprogramme und bi- und multilaterale Kooperationen. Seit 2014 ist er im Hauptamt Präsident der Leibniz-Gemeinschaft in Berlin.



Prof. Dr. Bernd Pichler

Mitglied

Mitglied der Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle (Saale), Deutschland; Dekan der Medizinischen Fakultät der Eberhard Karls Universität Tübingen, Deutschland

Bernd Pichler ist Ingenieur (Elektrotechnik) mit Schwerpunkt Biomedizin. Er forscht zur multimodalen Bildgebung und zur Detektorphysik und betreibt biomedizinische Grundlagenforschung in der Onkologie, Neurologie, Immunologie, Infektionsbiologie und Radiochemie. Seit 2008 ist er Direktor des «Werner Siemens Imaging Center» und der Abteilung für Präklinische Bildgebung und Radiopharmazie an der Universität Tübingen. Dort hat er erfolgreich die Bildgebungsverfahren PET (Positronen-Emissions-Tomographie) und MR (Magnetresonanztomografie) kombiniert, was insbesondere bei Tumoren eine präzise Diagnose und individuelle Therapiesteuerung ermöglicht. Bernd Pichler erhielt zahlreiche Auszeichnungen und Fördermittel und ist Mitglied in den wichtigsten Gremien und Gesellschaften seiner Fachgebiete; unter anderem ist er Council der European Society for Molecular Imaging und seit 2017 Mitglied der Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften. 2020 wurde Bernd Pichler zum Dekan der Medizinischen Fakultät der Universität Tübingen gewählt.



Prof. Dr. Peter Seitz

Mitglied

Vizepräsident der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften; Senior Technologist Europe bei Hamamatsu Photonics, Japan; Professor an der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Schweiz

Peter Seitz ist Halbleiter-Physiker; seine Dissertation schloss er im Bereich der Biomedizinischen Technik an der ETH Zürich ab. Er forschte im David Sarnoff Research Center (RCA) in Princeton, New Jersey, USA. Während zehn Jahren baute er die Gebiete Halbleiter-Bildsensorik und optische Messtechnik am Paul Scherrer Institut auf. Danach war er für das Schweizer Zentrum für Elektronik und Mikroelektronik (CSEM) in verschiedenen Forschungsleiter-Funktionen tätig, unter anderem als Vizepräsident Photonik, als Vizepräsident Nanomedizin und beim Aufbau des CSEM-Outpost für das Silicon Valley in San Francisco. Gleichzeitig war er ausserordentlicher Professor für Optoelektronik an der Universität Neuchâtel und ab 1997 an der EPFL. Ab 2012 hat er für die ETH Zürich das ieLab (Innovation & Entrepreneurship Lab) aufgebaut. Peter Seitz ist Autor oder Co-Autor von über 200 wissenschaftlichen Publikationen, Erfinder oder Mit-Erfinder von über 70 Patenten und Mitbegründer von 6 Hightech-Start-ups. Mit seinen Teams hat er 22 internationale Auszeichnungen und Preise erhalten.

Drei Fragen an Gianni Operto

Gianni Operto, ein ausgewiesener Energiespezialist und Innovationsförderer, setzt sich seit Jahrzehnten für erneuerbare Energien ein. Sein Wissen bringt er auch in die Werner Siemens-Stiftung ein. Seit 2012 ist er Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats.



Gianni Operto, Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats der Werner Siemens-Stiftung, engagiert sich für eine nachhaltige Energieversorgung, die unseren Planeten gesunden lässt und den Energiebedarf kommender Generationen abdeckt.

Sie sind studierter Maschinenbauingenieur, waren für ABB tätig, danach als Direktor des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich und später in der Förderung und Finanzierung erneuerbarer Energien. Seit 2012 sind Sie Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirates der Werner Siemens-Stiftung. Wie kam es dazu?

Ich wurde von Ludwig Scheidegger angefragt – er war vor Hubert Keiber Obmann des Kuratoriums der Stiftung. Vermutlich hat ihn meine Expertise und mein grosses Interesse an den Themen Energie, Telekommunikation und Medizintechnik bewogen, mich zu kontaktieren. Ausserdem habe ich lange mit Venture-Capital mitgeholfen, Start-ups im Bereich erneuerbare Energien zu finanzieren. Aus dieser Tätigkeit bringe ich viel Erfahrung mit, wenn es darum geht, aussichtsreiche Vorhaben von eher aussichtslosen zu unterscheiden.

Stichwort «Auswahl unterstützungswürdiger Projekte» – wie unterscheidet sich die Werner Siemens-Stiftung dabei von anderen Stiftungen?

Der Wissenschaftliche Beirat hat ja die Aufgabe, zuhanden des Stiftungsrats

Vorschläge zu machen, welche Projekte die Werner Siemens-Stiftung unterstützen soll. Wir Beiräte hören oft in unseren Netzwerken von «verrückten» Ideen, denen es aber an finanziellen Mitteln fehlt; wenn es vielversprechend klingt, ermuntern wir die Forschenden, einen Antrag einzureichen. Ausserdem wird unsere Stiftung immer bekannter, und Forschende sprechen uns von sich aus an. Viele Forschende haben aber Hemmungen, um grosse finanzielle Beiträge zu bitten. Sie sind bescheidene Summen gewohnt: Je weniger Geld ich verlange, desto grösser sind meine Chancen bei einer Stiftung. Die Werner Siemens-Stiftung funktioniert anders. Wir fördern Spitzenforschung – im Sinne von ganz neuen Ansätzen, um drängende gesellschaftliche Probleme zu lösen. Wir wollen die Projekte so unterstützen, dass sie ihr Vorhaben schnell und wirksam angehen können. Deshalb wählen wir nur eine kleine Zahl von Projekten aus, stellen diesen aber grosse Beträge zur Verfügung – manchmal über viele Jahre. Dieser Ansatz der Wissenschaftsförderung der Werner Siemens-Stiftung ist einzigartig.

Funktioniert der Ansatz «Wenige Projekte, grosse Unterstützung»?

Ja, die Erfahrung hat gezeigt, dass es funktioniert. Alle bisher ausgewählten Projekte sind auf gutem Wege. Die unterstützten Projekte zeigen aber auch, dass die Werner Siemens-Stiftung tatsächlich die dringendsten Themen unserer Zeit anpackt. Denken Sie an das Projekt Einzelatom-Schalter der ETH Zürich, das die digitale Telekommunikation revolutionieren will. Denken Sie an die Projekte im Bereich Medizin, die eine präzisere Diagnose und Behandlung bei zahlreichen Krankheiten ermöglichen werden. Und natürlich widmet sich die Werner Siemens-Stiftung dem brennenden Thema des Klimawandels, etwa durch die Unterstützung der Tiefengeothermie oder der Synthetischen Biotechnologie, die nach Alternativen zu fossilen Brennstoffen suchen. Mit meinem beruflichen Hintergrund liegen mir die erneuerbaren Energien besonders am Herzen. Es gilt, die Menschheit mit genügend Energie zu versorgen und unseren Nachkommen trotzdem einen gesunden Planeten zu hinterlassen. Dazu will die Werner Siemens-Stiftung beitragen.

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
Guthirhof 6
6300 Zug
Schweiz
www.wernersiemens-stiftung.ch

Konzeption

Brigitt Blöchlinger, Zürich
bigfish AG, Aarau

Gestaltung

bigfish AG, Aarau

Projektleitung, Textredaktion

Brigitt Blöchlinger, Zürich

Bildredaktion

bigfish AG, Aarau

Produktion

Christine Schnapp, Zürich

Texte, Reportagen

Adrian Ritter, Baden
S. 23–38, 74–75, 80–81, 106–107, 118–119

Andres Eberhard, Zürich
S. 41–54

Brigitt Blöchlinger, Zürich
S. 57–72, 76–79, 82–83, 90–93, 104–105, 110–113,
116–117

Santina Russo, Zürich
S. 84–87, 94–95, 96–99

Sabine Witt, Zürich
S. 88–89, 100–103

Fotografien

Oliver Lang, Fotografie, Lenzburg:
S. 2, 6, 9, 11, 42, 45–48, 50–52, 74, 84, 87, 96, 98–99

Felix Wey, Fotostudio, Baden:
S. 3, 4/5, 7–8, 10, 12/13, 24, 26–27, 30–33, 35,
37, 58, 60–61, 63–70, 80, 94, 100, 102–103,
105–106, 115–117, 119

Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz,
S/Y EUGEN SEIBOLD-Team: S. 77–79

Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüber-
wachung, MARUM, Bremen, Ralf Bachmayer:
S. 82 (Video Still)

Thomas Brück/TUM: S. 91

Andreas Heddergott/TUM: S. 92

Siemens Historical Institute, Berlin: S. 111–112

Illustrationen

bigfish AG, Aarau, S. 28–29

Korrektorat, Lektorat

Petra Jäger, Zürich

Druckerei

Kasimir Meyer AG, Wohlen

Hinweis Covid-19

Wo zum Zeitpunkt der Fototerminen eine Maskenpflicht bestand, haben die Abgebildeten auf den Gruppenfotos ihre Gesichtsmasken nur für den Moment der Aufnahme kurz abgenommen. Die Abstände wurden, wo möglich oder wo eine Pflicht bestand, jederzeit gewahrt.

