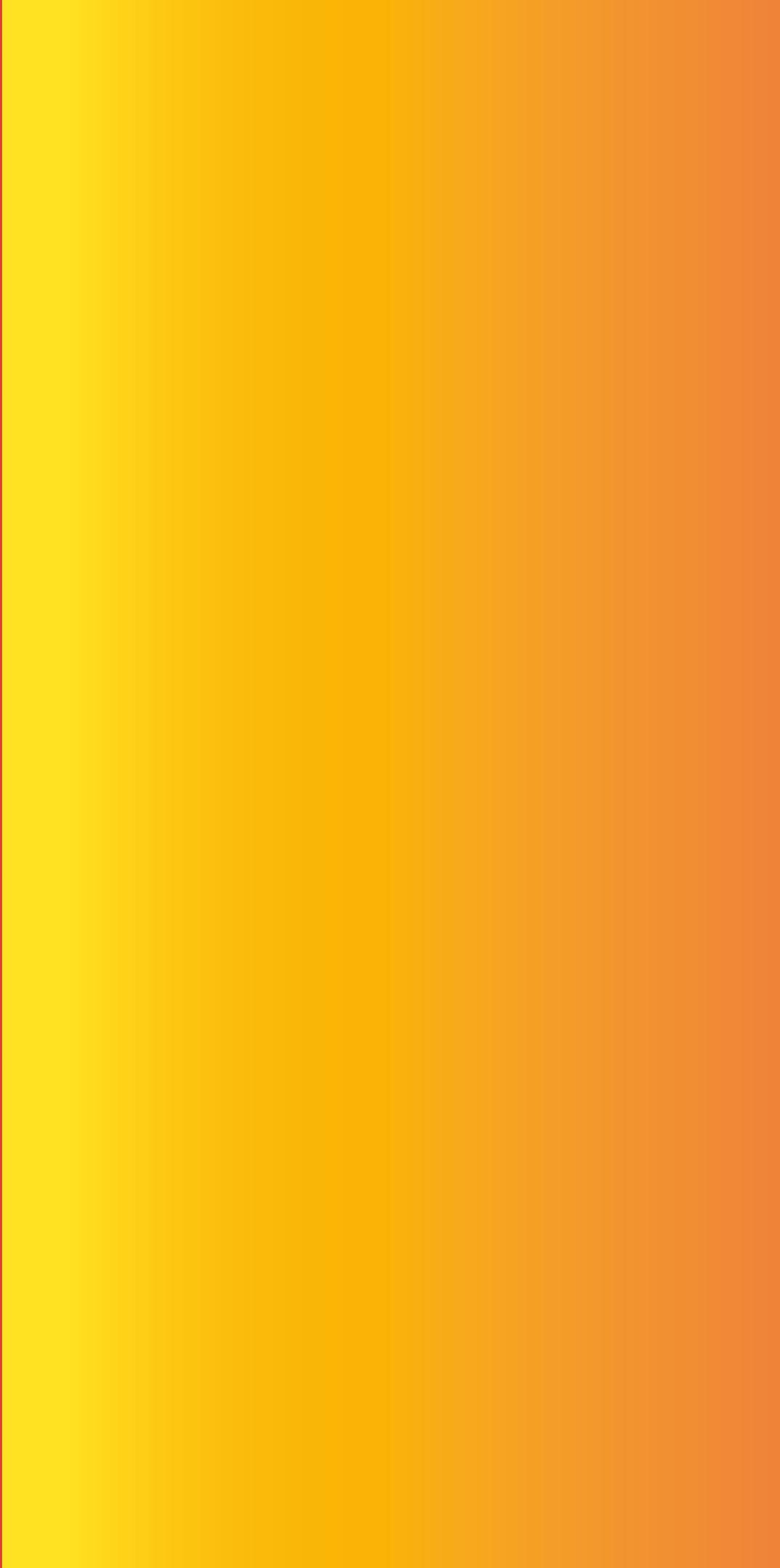




**WSS**

WERNER SIEMENS-STIFTUNG



**WSS**

WERNER SIEMENS-STIFTUNG

# Report 2024

# 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

Wissenschaft ist wichtig für die Gesellschaft. Sie hilft, die Welt zu verstehen, löst Probleme und kann unser Leben einfacher und besser machen. Die Werner Siemens-Stiftung (WSS) trägt ihren Teil dazu bei, indem sie hochkarätige Forschungsprojekte in den Lebens-, Natur- und Technikwissenschaften fördert. WSS-Projekte haben den Anspruch, massgeblich dazu beizutragen, dass die Menschheit wichtige Herausforderungen unserer Zeit meistern kann.

Eines der wichtigsten Ziele, welche die Gesellschaft anstreben muss, ist der nachhaltige Umgang mit den Ressourcen unseres Planeten. Um dies zu erreichen, braucht es neue, mutige Ideen aus der Wissenschaft. Ideen wie jene von Chemie-Nobelpreisträger Benjamin List am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung

in Mülheim an der Ruhr. In einem neu von der WSS geförderten Projekt arbeitet Professor List an einer Art chemischer Traumreaktion. Mit ihr liesse sich CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre entfernen, um die Klimaerwärmung zu bremsen (Seite 26).

Ein anderer Schlüssel, um die Klimaerwärmung in den Griff zu bekommen, liegt unter unseren Füßen. In der Erdkruste ist genügend Wärme gespeichert, um den Energiebedarf der Menschheit theoretisch bei Weitem zu decken. Zudem enthält sie Schichten und Lagerstätten, in denen sich fossiles CO<sub>2</sub> lagern liesse. Beides erforscht Professor Martin Saar an der ETH Zürich. In seinem neuen WSS-Projekt will er geologische Reservoirs in einem 3D-Drucker nachbilden und mit einem einzigartigen Gerät untersuchen (Seite 36).

Auch das WSS-Forschungszentrum «catalaix» in Aachen hat sich der Nachhaltigkeit verschrieben. Das Projekt, das den einzigartigen Ideenwettbewerb zum 100-jährigen Bestehen unserer Stiftung für sich entschied, hat im Herbst seine Arbeit offiziell aufgenommen: Die Forschenden werden mittels katalytischer Methoden Kunststoffe in ihre Einzelteile zerlegen und so die Basis schaffen für eine mehrdimensionale Kreislaufwirtschaft (Seite 82).

Zu einem Wechsel kommt es im Wissenschaftlichen Beirat der WSS. Nach zwölf Jahren als Vorsitzender dieses wichtigen Gremiums ist Gianni Operto auf Ende des Jahres altershalber zurückgetreten (Seite 108). Auf ihn folgt Michael Hengartner, ehemaliger Rektor der Universität Zürich und heutiger Präsident des ETH-Rates (Seite 114).

Im Namen des Stiftungsrates und des Beirates der Familie bedanke ich mich bei Gianni Operto für seinen enormen Einsatz und für seine wertvolle, grossartige Arbeit. Gleichzeitig wünsche ich Michael Hengartner einen guten Start – und bin schon jetzt gespannt, welche überraschenden und kühnen Ideen der Wissenschaftliche Beirat unter seiner Leitung zur Förderung vorschlagen wird.

Nun wünsche ich Ihnen eine spannende Lektüre!

Hubert Keiber,  
Obmann des Stiftungsrats der  
Werner Siemens-Stiftung

# Inhalt

Report 2024

- 2 Förderleitlinien
- 4 Vorwort
- 6 Inhalt
- 8 Forschung im Bild

Fokus: In winzigen Welten

- 26 **Kohle aus Luft**  
In einem neu unterstützten Projekt will Nobelpreisträger Benjamin List die Photosynthese nachahmen.
- 36 **Geologische Reservoirs ins Labor geholt**  
Das neu unterstützte Folgeprojekt von Martin Saar untersucht die Tiefengeothermie im MRI-Gerät.
- 46 **Heilen im Kleinen**  
Die Medizin wird immer präziser. Dafür braucht es Methoden, um winzigste Strukturen zu verändern.
- 54 **Die Liste**  
Zwölf kuriose Fakten aus der Welt des Winzigen.
- 58 **Elektronik-Revolution**  
Elektronische Bauteile werden kleiner und kleiner. Wie viel geht da noch? Drei Experten im Gespräch.
- 66 **Der ausgeleuchtete Körper**  
Bildgebende Methoden ermöglichen Einblicke in die feinsten Körperstrukturen. Ein Besuch am Werner Siemens Imaging Center in Tübingen.
- 74 **«Miniaturisieren bedeutet, einen neuen Ansatz zu finden»**  
Ex-NASA-Forschungschef Thomas Zurbuchen über Weltraummissionen und Innovationsförderung.

Laufende Projekte

- 82 **Ein gelungener Auftakt**  
Das WSS-Jahrhundertprojekt «catalaix» ist in sein Kunststoff-Abenteuer gestartet.
- 84 **Weltpremiere im Pazifik**  
Die Forschungsjacht «Eugen Seibold» sammelt wichtige Daten zum Wetterphänomen El Niño.
- 86 **Die Virenhüllen bersten**  
Das Team um Francesco Stellacci entwickelt mehrere aussichtsreiche Wirkstoffe gegen Viren.
- 88 **Das Felslabor wächst**  
Ein neuer Seitentunnel im BedrettoLab erlaubt besonders gute Erdbeben-Beobachtungen.
- 90 **Andocken am Meeresgrund**  
Eine Neuerung ermöglicht dem MARUM-Team eine noch bessere Erforschung der Tiefsee.
- 92 **Cleverere Sicherheitssysteme**  
Am Zentrum für digitales Vertrauen entstehen Verschlüsselungen, die nicht zu knacken sind.
- 94 **Hoffnung bei Blasenschwäche**  
Das Team am Zentrum für künstliche Muskeln arbeitet an einem System, das inkontinenten Menschen helfen wird.
- 96 **Was geht vor im Stahlbeton?**  
Die Korrosion im Stahlbeton ist geprägt von Vorgängen im Nanobereich. Ueli Angst spürt ihnen nach.
- 98 **Testen, testen, testen**  
Das Paläobiotech-Team will so viele prähistorische Daten wie möglich testen. Dazu braucht es Automatisierung.

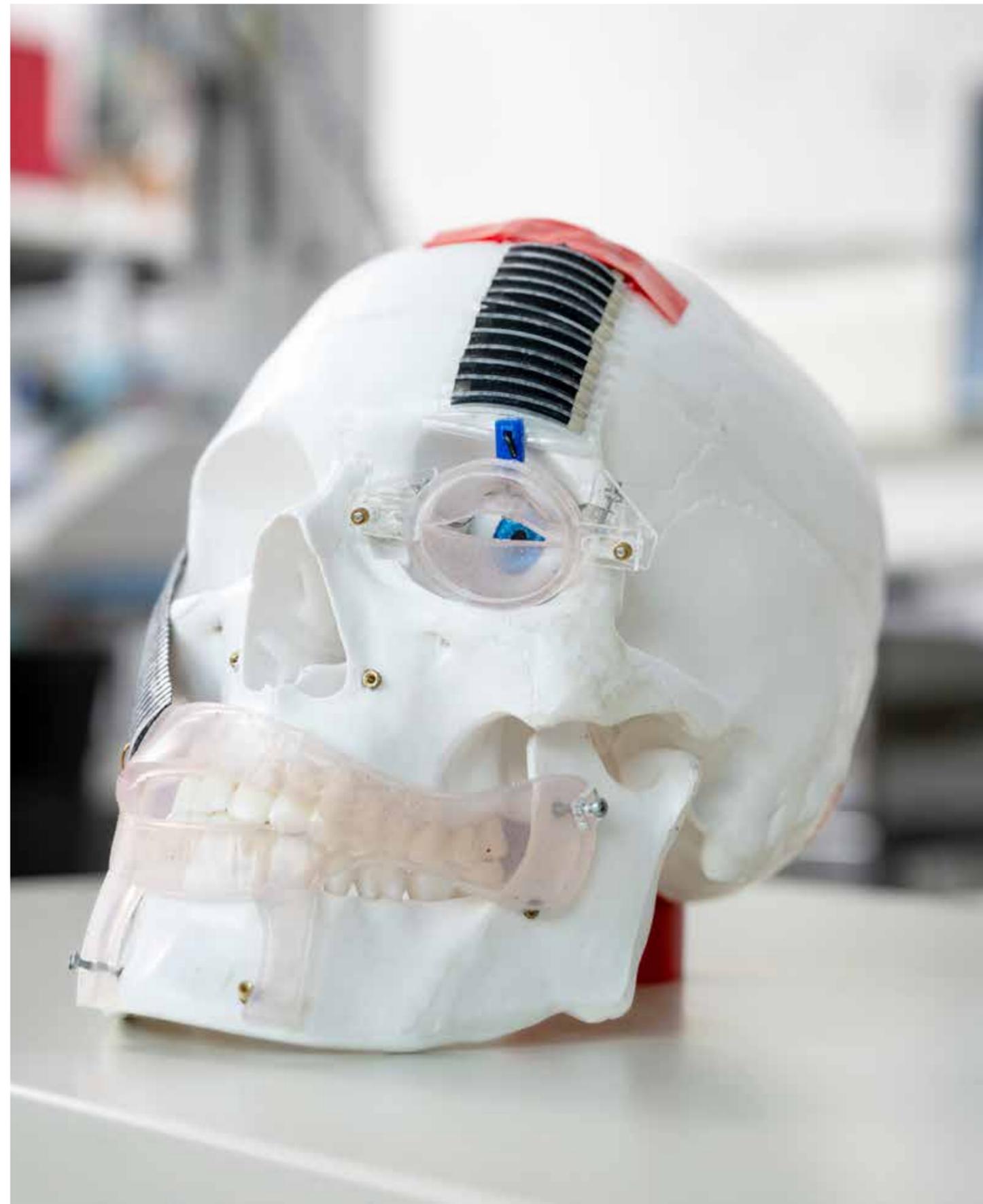
- 100 **Neue Pläne, neue Materialien**  
Bald werden thermoelektrische Materialien im Hochdurchsatzlabor hergestellt und getestet.
- 102 **Diagnose-Kit bei Blutvergiftung**  
Mit einem MedTechEntrepreneur-Fellowship hat Kevin Yim ein vielversprechendes Start-up gegründet.
- 104 **Gegen Blindflug im Klimaschutz**  
Das Projekt CERES zeigt auf, welche Massnahmen gegen den Treibhausgas-Ausstoß wirken.

Die Werner Siemens-Stiftung

- 108 **«Das war einfach super. Ein Geschenk»**  
Der abtretende Vorsitzende des Wissenschaftlichen Beirats, Gianni Operto, über seine Arbeit für die WSS.
- 114 **Eine wichtige Stimme im Wissenschaftsbetrieb**  
Michael Hengartner, Präsident des ETH-Rats, übernimmt die Nachfolge von Gianni Operto.
- 116 **Gremien**
- 117 **Vergabeprozess**
- 118 **Impressum**



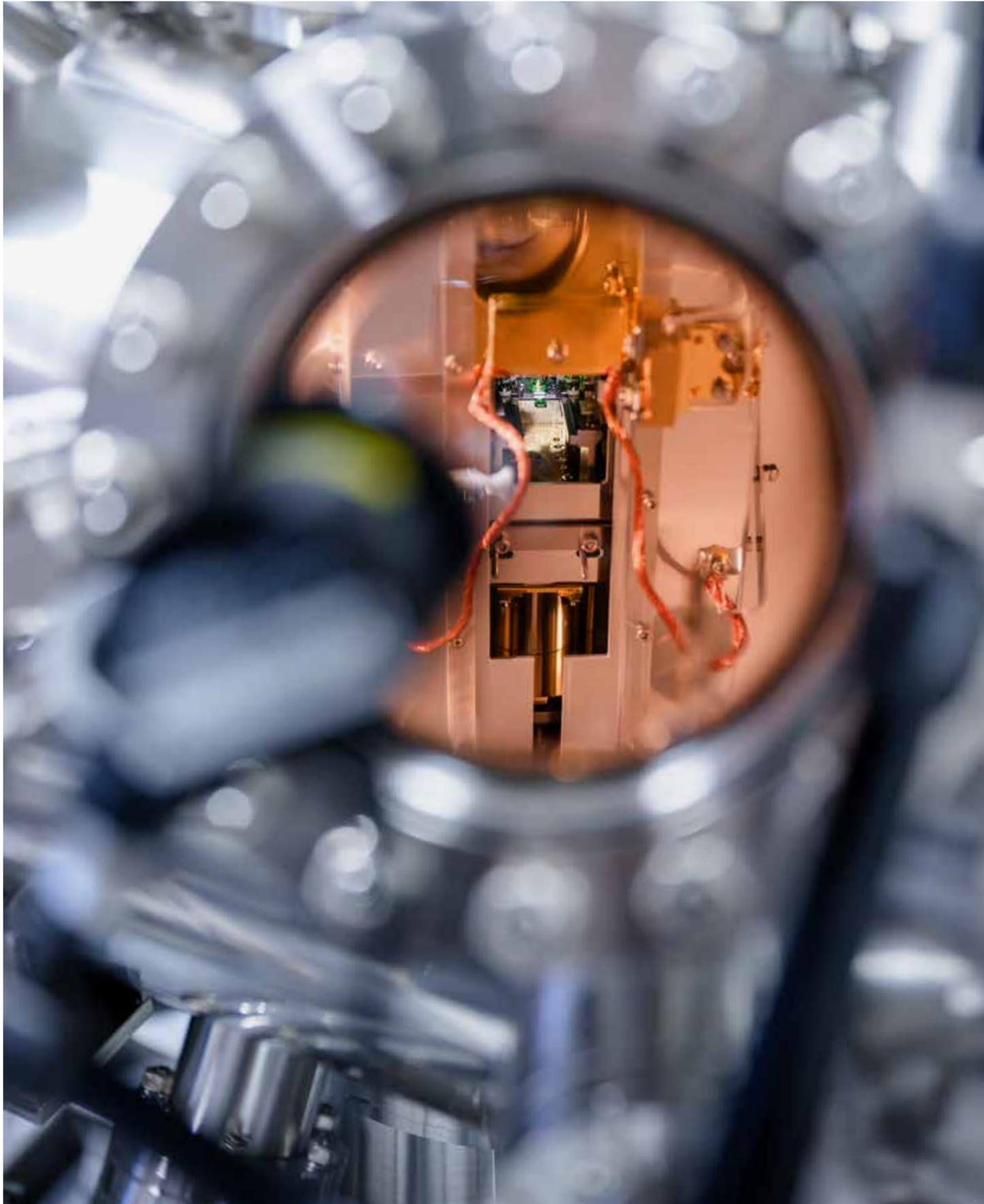
Um ein Reagenzglas zu formen, wird am WSS-Zentrum für thermoelektrische Materialien in Klosterneuburg bei Wien ein Glasstab geschmolzen.



Am Zentrum für künstliche Muskeln in Neuenburg tüfteln Forschende daran, wie sich Muskelerkrankungen im Gesicht behandeln lassen.



Forschende des Werner Siemens Imaging Centers in Tübingen schieben Proben in die Röhre: Sie untersuchen Erkrankungen mit bildgebenden Methoden.



Das Rastertunnelmikroskop des Projekts CarboQuant an der Empa gibt Einblicke in die Quantenelektronik.



Wer komplexe Geräte betreiben will, wie hier am Werner Siemens Imaging Center, muss auch den Kabelsalat im Griff haben.



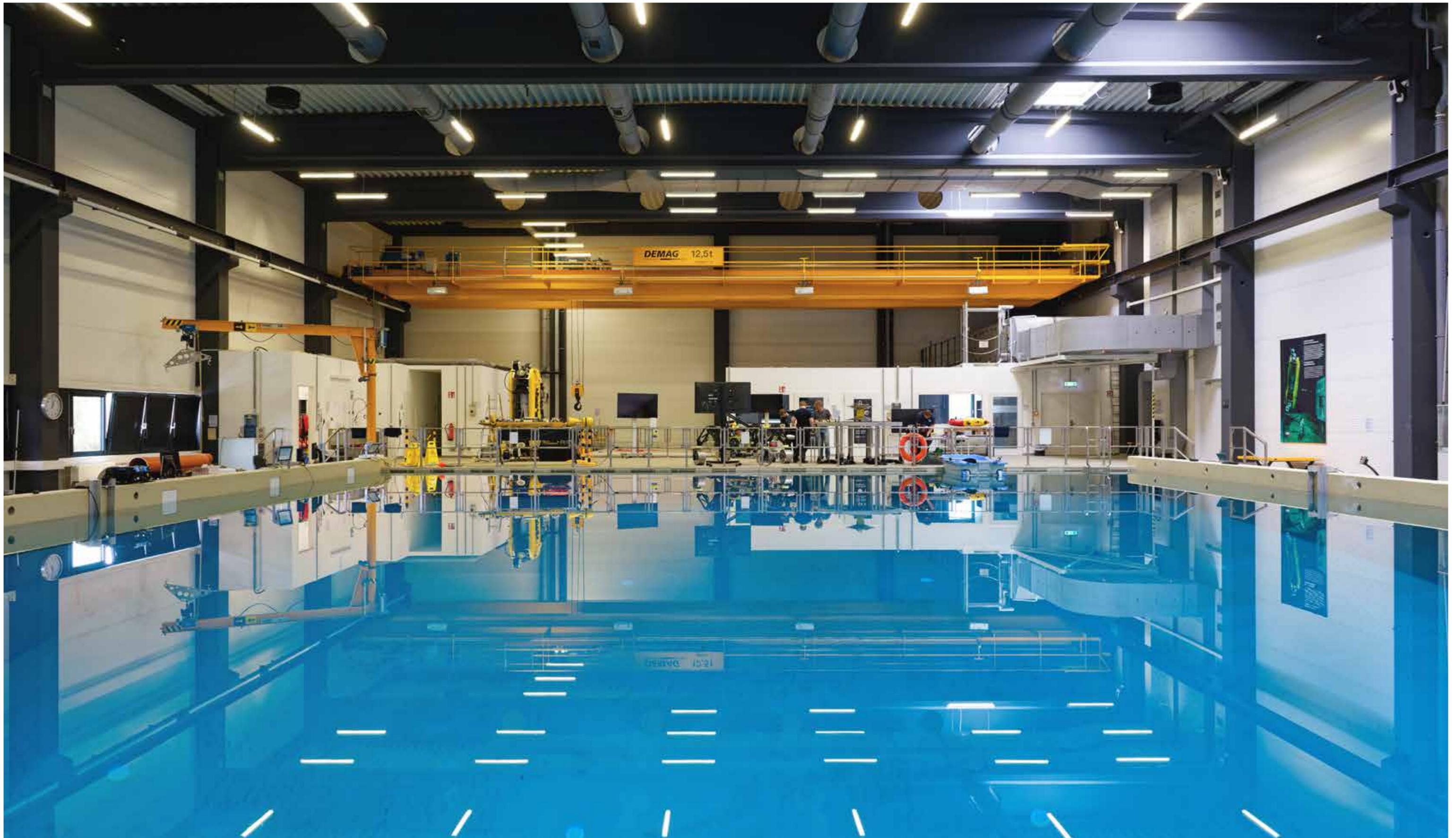
Dank der Automatisierungsplattform kann das Projekt Paläobiotechnologie im Schnellzugtempo Moleküle aus dem Zahnstein von Frühmenschen testen.



Die Forschungsjacht «Eugen Seibold» hat im vergangenen Jahr das Klimaphänomen El Niño im Pazifik untersucht.



Im Projekt CERES in Potsdam werden Unmengen klimapolitischer Daten ausgewertet. Dazu braucht es ein leistungsfähiges Rechenzentrum.



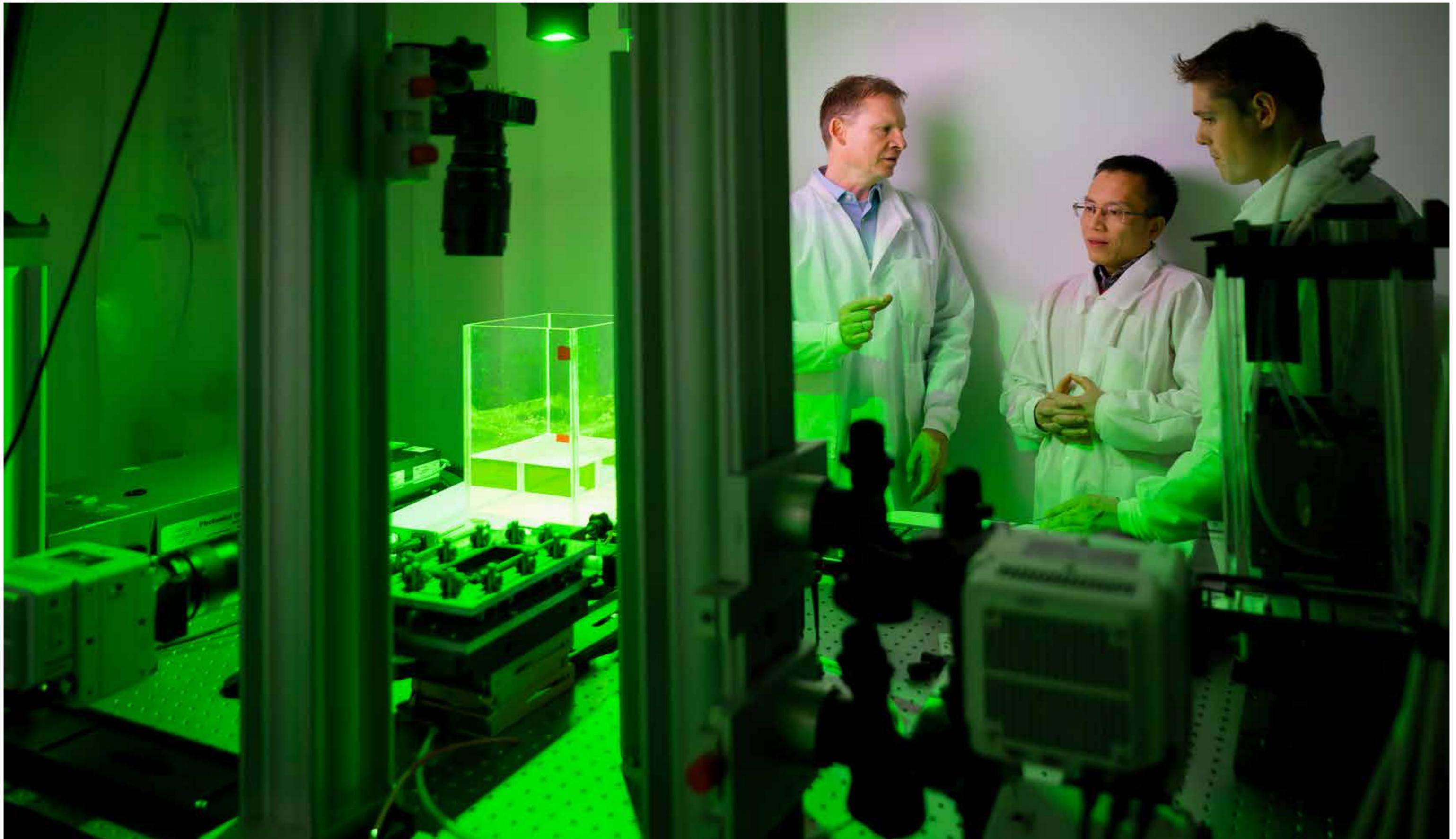
Testbecken für Meeresforschung. Am Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung in Bremen werden neuartige Unterwasserroboter ausprobiert.



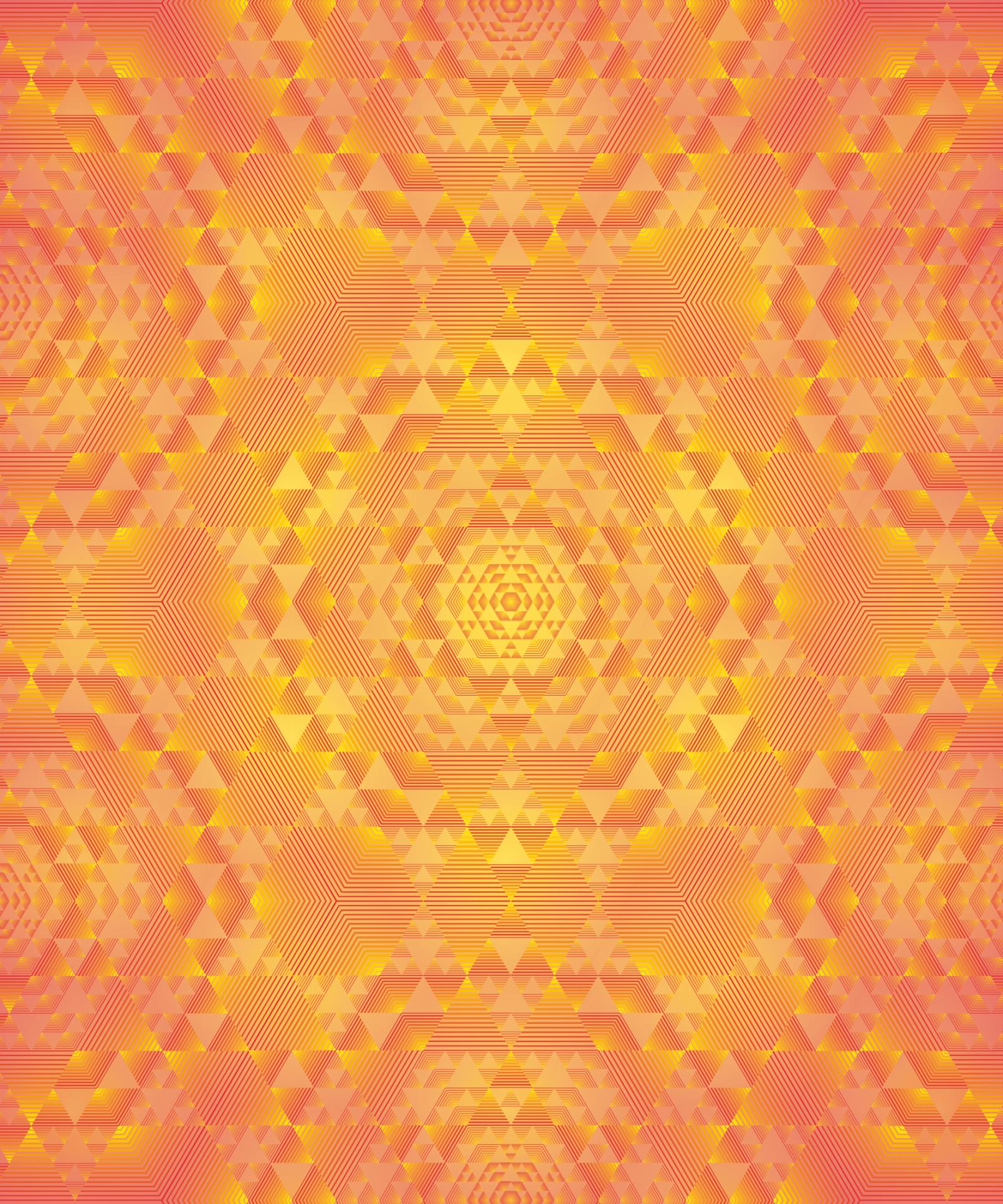
Die korrekte Beschriftung chemischer Proben, wie hier am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr, ist wichtig.



Im BedrettoLab der ETH Zürich im Tessin entsteht ein neuer Stollen, von dem aus sich Erdbeben noch besser untersuchen lassen.

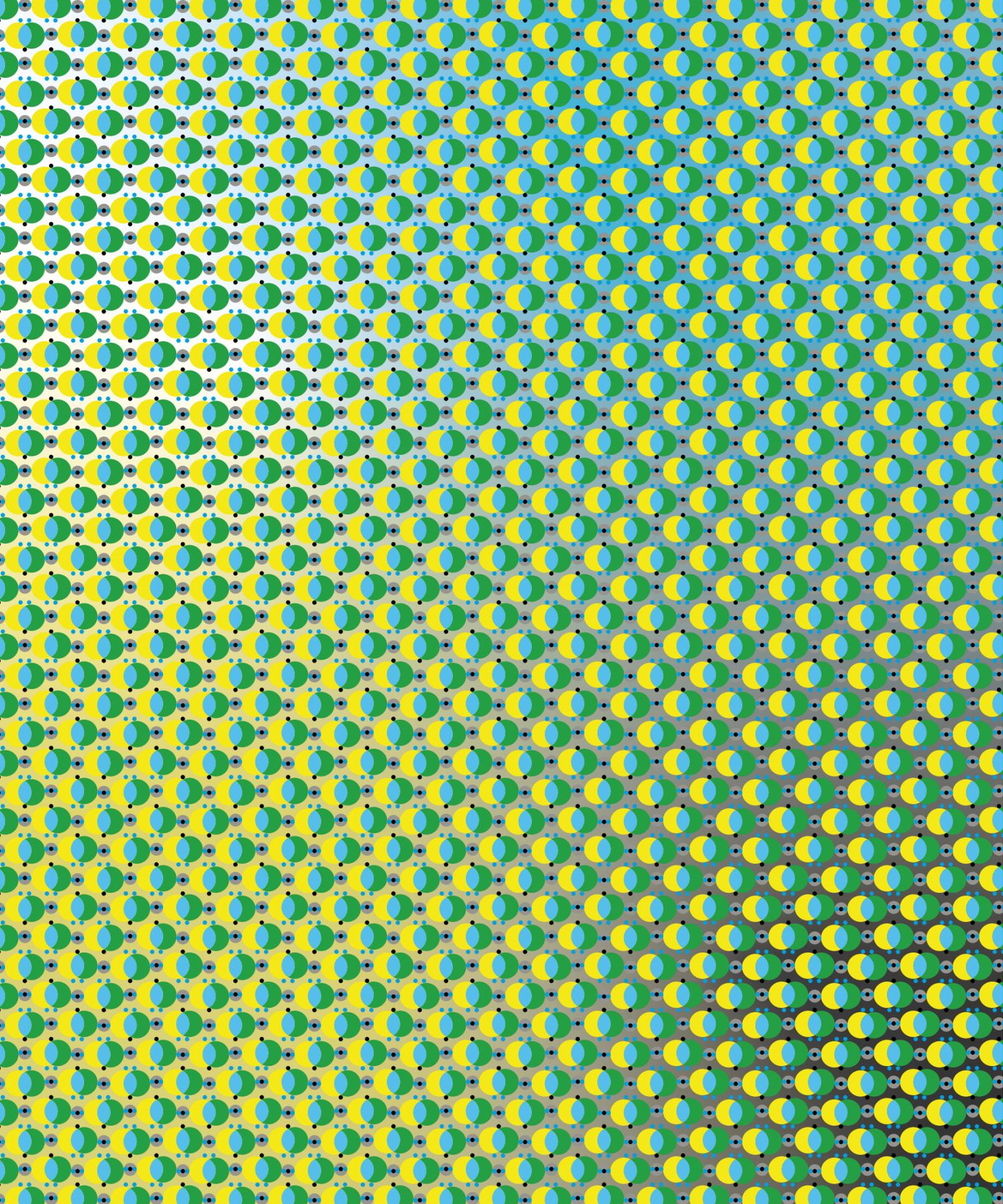


Im Laserlabor untersucht die Gruppe für geothermische Energie und Geofluidе der ETH Zürich den Transport von Flüssigkeiten und gelösten Stoffen.



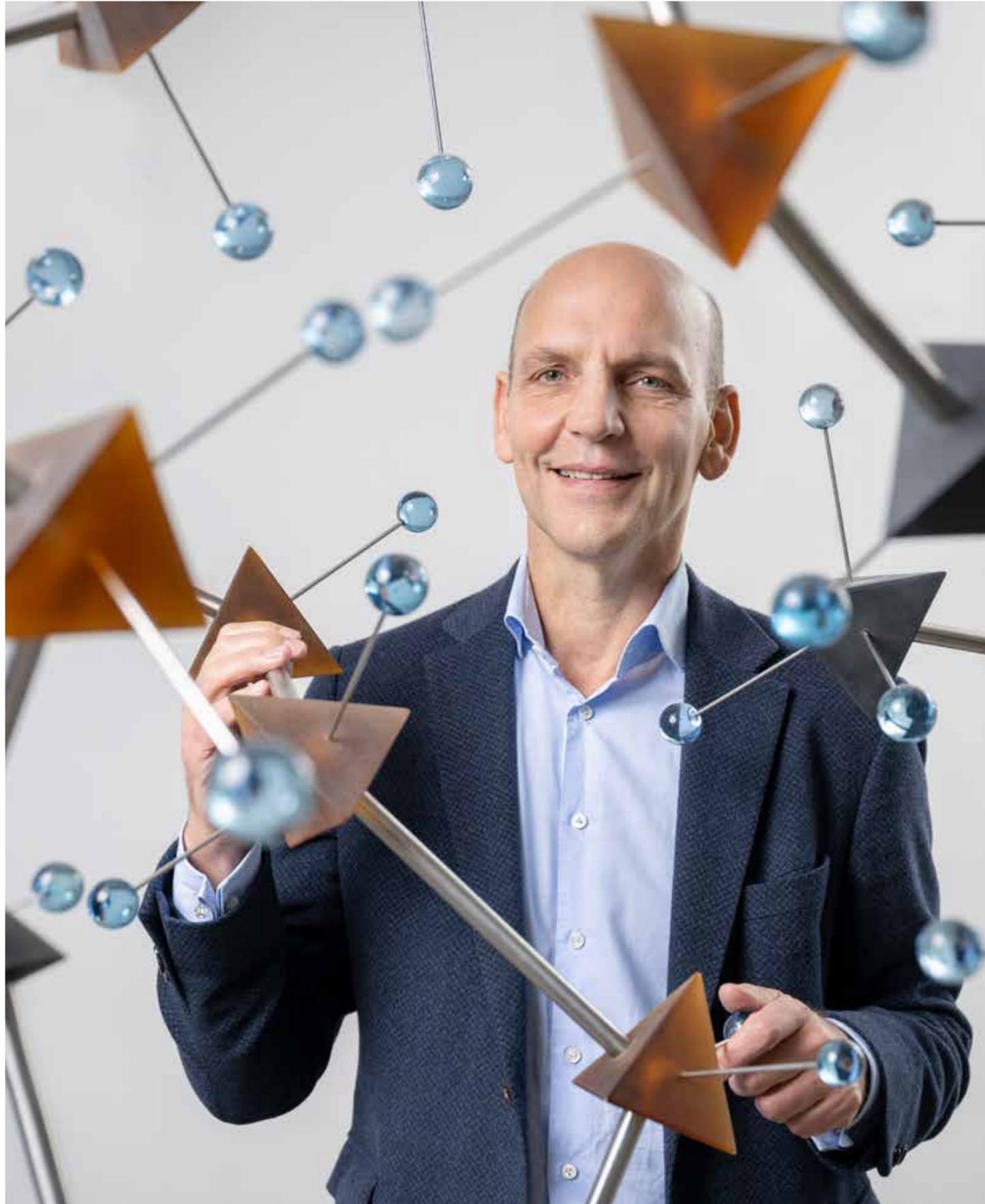
# In winzigen Welten

Um bahnbrechende Entdeckungen oder Erfindungen zu machen, müssen Forschende heute in Dimensionen vordringen, die dem menschlichen Auge verborgen bleiben. Hochmoderne Geräte unterstützen sie bei diesen Reisen in die Mini-, Mikro- oder gar Nano-Welt. Unser Fokus zeigt, wie von der Werner Siemens-Stiftung unterstützte Projekte mit der Erforschung kleinster Strukturen dazu beitragen, grosse Fragen zu lösen.



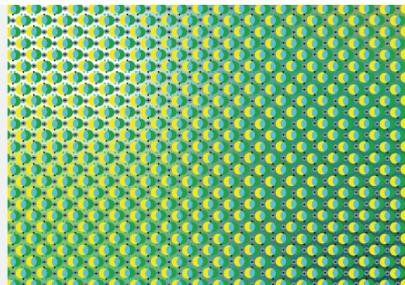
# Die Kohle aus der Luft holen

Neu unterstütztes Projekt «Künstliche Photosynthese»



# «Es wäre der Kern der Photosynthese»

Pflanzen spalten seit Jahrtausenden Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre. Nobelpreisträger Benjamin List vom Max-Planck-Institut für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr möchte dieses Prinzip der Photosynthese nachahmen. In einem neu von der Werner Siemens-Stiftung unterstützten Projekt arbeitet er an einer eleganten chemischen Reaktion, welche die Welt verändern könnte.



## Künstliche Photosynthese

Um die Klimaerwärmung zu bekämpfen, braucht es Methoden, um Kohlenstoffdioxid im grossen Stil aus der Atmosphäre zu entfernen. Der Nobelpreisträger Benjamin List vom Max-Planck-Institut für Kohlenforschung arbeitet dazu an einer photokatalytischen CO<sub>2</sub>-Spaltung. Mithilfe der richtigen Katalysatoren und von Sonnenlicht, so seine Idee, sollte sich Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in reinen Kohlenstoff (C) und in Sauerstoff (O<sub>2</sub>) umwandeln lassen. Der entstehende «solare Kohlenstoff» liesse sich verwenden, um chemische Produkte herzustellen, nachhaltiges Benzin zu produzieren, Elektrizität zu gewinnen oder Häuser und Strassen zu bauen. Zudem könnte man überschüssige Kohle problemlos im Boden einlagern.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**

10 Mio. Euro

**Projektdauer 2025–2034**

**Projektleitung** Prof. Dr. Benjamin List, Max-Planck-Institut für Kohlenforschung, Mülheim an der Ruhr

*Herr List, in Ihrem ab 2025 von der Werner Siemens-Stiftung unterstützten Projekt wollen Sie eine Art künstliche Photosynthese entwickeln. Worum geht es?*

Es geht tatsächlich darum, die Photosynthese der Pflanzen nachzuahmen. Pflanzen verwandeln Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser in Kohlenhydrate, beispielsweise Zellulose. Daneben bildet sich Sauerstoff. Meine erste Idee war, in einer Art direkter chemischer Photosynthese ein Synthesegas herzustellen, das aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H<sub>2</sub>) besteht. Daraus lässt sich Benzin herstellen. Allerdings habe ich gemerkt, dass genau das bereits von einem Start-up in der Schweiz gemacht wird.

*Von der Firma Synhelion.*

Genau. Die stellen aus CO<sub>2</sub> und Wasser mithilfe von Katalysatoren und Sonnenlicht direkt Benzin her. Das ist eine tolle Idee – und die Firma kooperiert zum Beispiel mit der Fluggesellschaft Swiss, um einen Teil des Kerosins aus nachhaltigen Quellen zu liefern. Aber das ist noch ein verschwindend kleiner Anteil – und das Tragische ist: Selbst wenn wir weltweit sämtliches Benzin, für alle Autos, Flugzeuge und Schiffe, auf diese Weise produzieren würden, könnte das den Klimawandel nicht aufhalten.

*Weshalb nicht?*

Die Menschheit produziert jedes Jahr ungefähr 52 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente. An Benzin brauchen wir aber nur ungefähr 1 Milliarde Tonnen. Das heisst: Am Ende müssen wir der Atmosphäre viel, viel grössere Mengen an CO<sub>2</sub> entnehmen.

*Sie haben deshalb einen anderen Ansatz entwickelt.*

Ich muss zugeben, es ist im Moment eher eine Idee. Die Idee, das Wasser auf beiden Seiten der chemischen Photosynthese-Gleichung zu entfernen. Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) würde also mithilfe von Lichtenergie in reinen Kohlenstoff (C) und in Sauerstoff (O<sub>2</sub>) umgewandelt. Es wäre der Kern der Photosynthese.

*Was für Vorteile hätte das?*

Diese Umwandlung, wenn sie gelänge,

würde mit dem Kohlenstoff die Basis liefern, um die chemische Industrie komplett nachhaltig zu machen. Aus Kohle kann man alle organischen Materialien herstellen, die Technologie dafür existiert bereits. Man könnte aus dieser solaren Kohle auch Benzin herstellen – mit dem sogenannten Fischer-Tropsch-Verfahren, das übrigens vor 100 Jahren hier am Max-Planck-Institut für Kohlenforschung entwickelt wurde. Natürlich liesse sich die solare Kohle auch klimaneutral verbrennen oder für die Stromerzeugung nutzen. Und der letzte Punkt ist der wichtigste.

*Welcher?*

Um genügend CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre zu entfernen, müssen wir viel mehr solare Kohle produzieren, als wir brauchen können. Selbst wenn wir daraus sämtliche chemischen Produkte und alles Benzin der Welt herstellen würden, bliebe immer noch viel überschüssige Kohle. Diese Kohle aber könnte man problemlos verbuddeln in der Erde – hier im Ruhrgebiet beispielsweise. Wenn ich aus dem Fenster meines Büros schaue, sehe ich riesige Abraumhalden der Kohleindustrie. Darunter gibt es enorme Hohlräume, aus denen man einst Kohle abgebaut hat. Diese Hohlräume und Schächte kosten Geld. Sie können absacken und einstürzen und man muss sicherstellen, dass keine Gefahr von Wasserflüssen oder Grundwasser ausgeht. Insofern wäre es eine perfekte Lösung, diese stillgelegten Stollen wieder mit Kohle zu füllen.

**«Kohle könnte man problemlos in der Erde verbuddeln.»**

*Das Lagern von reiner Kohle wäre viel einfacher als die oft propagierte Abscheidung und Speicherung von CO<sub>2</sub> (carbon capture and storage).*

Richtig! Kohle kann man problemlos transportieren. Und es ist ein Fest-



Bei der Behandlung von chemischen Proben ist Fingerspitzengefühl gefragt.



Moderne Geräte erlauben es, die Zusammensetzung chemischer Proben rasch zu identifizieren.

stoff – ein Gas wie CO<sub>2</sub> in die Erde zu pressen und dort zu speichern, ist viel schwieriger.

*Ihr Ansatz klingt vielversprechend, aber Sie haben es selbst gesagt: Noch existiert die Reaktion nicht. Wie gut ist der Reaktionsweg von CO<sub>2</sub> zu Kohlenstoff und Sauerstoff untersucht?*

So gut wie gar nicht. Man findet in der Literatur kaum etwas dazu. Die Idee scheint mehr oder weniger übersehen worden zu sein. Oder, das denke ich manchmal, wenn ich schlecht schlafe: Die meisten klugen Chemiker wissen, dass die Reaktion nicht funktionieren kann. Aber wenn ich am nächsten Morgen aufwache, tröste ich mich damit, dass es für eine revolutionäre Entdeckung eine verrückte Idee braucht.

*Was ist verrückt an der Idee?*

Wir alle wissen, dass sich Kohle im Beisein von Sauerstoff prima verbrennen lässt. Die geplante Reaktion geht den umgekehrten Weg, will das sozusagen rückgängig machen. Das klingt

erst einmal verrückt. Aber wenn man genauer hinschaut, sieht man, dass die dafür benötigte Energiemenge zwar schockierend gross ist, nämlich ungefähr 94 Kilokalorien pro Mol. Aber es ist immer noch eine geringere Menge, als die Photosynthese benötigt. Was Pflanzen machen, ist also energetisch aufwändiger als dieser Prozess.

**«Ich kann nicht garantieren, dass es funktioniert.»**

*Gibt es noch etwas, das Sie zuversichtlich stimmt?*

Ja, die Tatsache, dass diese Reaktion gerade jetzt, während wir sprechen, abläuft. Zum Beispiel in der Atmos-

phäre des Mars. Aber auch in der Erdatmosphäre. Es gab nämlich schon Sauerstoff in der Atmosphäre, bevor die ersten Organismen Photosynthese betrieben. Die Frage war: Woher kam dieser Sauerstoff? Herausgefunden hat man es vor einigen Jahren. Man bestätigte experimentell, dass CO<sub>2</sub> mit sehr starkem, energiereichem UV-Licht gespalten werden kann in C und O<sub>2</sub>. Der Kern meines Gedankens ist es, diese Reaktion zu katalysieren, sodass sie weniger Energie benötigt.

*Welche Ideen haben Sie, um die Reaktion zu katalysieren?*

Ein grundsätzlicher Gedanke ist folgender: Bei der Reaktion bildet sich aus einer Gasphase, dem CO<sub>2</sub>, ein Feststoff, die Kohle. Lagert sich die Kohle auf der Oberfläche des Katalysators ab, wird er irgendwann automatisch deaktiviert. Solche Abscheidungsreaktionen gibt es auch bei der Herstellung von Wasserstoff aus Methan. Dort leitet man Methan gas durch flüssiges, heisses Zinn. Der



Um seine Idee umzusetzen, ist Benjamin List auf eine kreative Forschungsgruppe angewiesen.



Manche chemische Reaktionen werden unter hohem Druck durchgeführt.

Wasserstoff blubbert oben heraus und die Kohle lagert sich auf dem Zinn ab. Man benutzt eine Art Scheibenwischer, der die Kohle von Zeit zu Zeit entfernt.

*Und dieses Prinzip könnte man auch bei Ihrer Reaktion nutzen?*

So ist es. Das ist der Ansatz, den wir bei Ideen der sogenannten heterogenen Katalyse verfolgen. Aber die Details sind komplex und natürlich noch geheim.

*Gibt es andere Möglichkeiten?*

Ein spannender Ansatz, den wir verfolgen, ist die Biokatalyse. Manche Mikroorganismen sind in der Lage, CO<sub>2</sub> aus der Luft in Kohle zu verwandeln. Man könnte versuchen, solche Bakterien oder Algen in Meerwasser arbeiten zu lassen. Meerwasser ist relativ reich an CO<sub>2</sub>. Der entstehende Kohlenstoff würde auf dem Wasser schwimmen und liesse sich einfach abschöpfen. Ich bin daran, für diesen Teil des Projekts Biologen einzustellen.

*Was kann alles schiefgehen bei dem Projekt?*

Einiges, fürchte ich. Das habe ich im Antrag formuliert und der Stiftung auch so gesagt. Ich kann nicht garantieren, dass das funktioniert. Aber es hat mir auch noch niemand einen fundamentalen Grund geliefert, weshalb die Reaktion unmöglich sein sollte. Ich bin ein Optimist und werde alles daransetzen, dass es gelingt. Ich glaube, je höhere Ziele man sich setzt, desto besser. Es kann sein, dass man das Ziel nicht ganz erreicht – aber man lernt immer etwas Wichtiges oder entdeckt eine andere tolle Reaktion.

*Was braucht es, damit solch ein Vorhaben gelingt?*

Eine gute Idee. Aber mindestens genauso wichtig sind die Personen, welche die Idee umsetzen. Dank der Werner Siemens-Stiftung sind wir in der Lage, eine schlagkräftige Truppe zusammenzustellen – eine Gruppe von fünf bis zehn Leuten, die in den nächsten zehn Jahren an diesem The-

ma arbeiten wird. Meine Aufgabe ist es, kluge, kreative und mutige Köpfe zu finden und einzustellen. Denn es gibt eine grundsätzliche Problematik, wenn man etwas zu machen versucht, das noch nie jemand gemacht hat.

*Welche?*

Wir Menschen tendieren zum Gruppenleben. Wir wollen gerne am selben Lagerfeuer sitzen, dieselben Lieder singen und dasselbe Getränk trinken. Das ist unser Wesen. In meiner Gruppe forschen die meisten Mitarbeitenden an der asymmetrischen Organokatalyse; sie feiern Erfolge und publizieren tolle Paper. Wenn nun jemand kommt und an etwas arbeitet, das sonst keiner macht, kann er sich sehr schnell sehr einsam fühlen. Es braucht eine bestimmte Mentalität, um das auf sich zu nehmen.

*Auch die asymmetrische Organokatalyse war einmal etwas völlig Neues. Sie haben für deren Entwicklung im Jahr 2021 den Nobelpreis für Chemie*

*erhalten. Wussten Sie schon beim ersten Mal, als sie sahen, dass sich auch kleine, organische Moleküle wie Aminosäuren als Katalysatoren einsetzen lassen, dass Sie etwas Grossem auf der Spur sind?* Ich weiss noch genau, wie ich dieses Experiment gemacht habe. Das war vor ungefähr 25 Jahren und ich hatte gerade eine Assistenzprofessur angetreten am Scripps Research Institute in Südkalifornien. Es hat ziemlich schnell funktioniert. Als ich es sah, dachte ich: Nice! Ich dachte nicht, dass ich deswegen irgendwann den Nobelpreis bekommen könnte. Aber ich dachte, ich könnte dafür eine Festanstellung bekommen. Meine Frau und ich hatten gerade geheiratet und sie wurde kurze Zeit später schwanger – es war also eine ganz gute Aussicht, einen festen Job zu bekommen.

*Es wurde mehr als eine Festanstellung. Wie hat der Nobelpreis Ihre Forschungsarbeit verändert?*

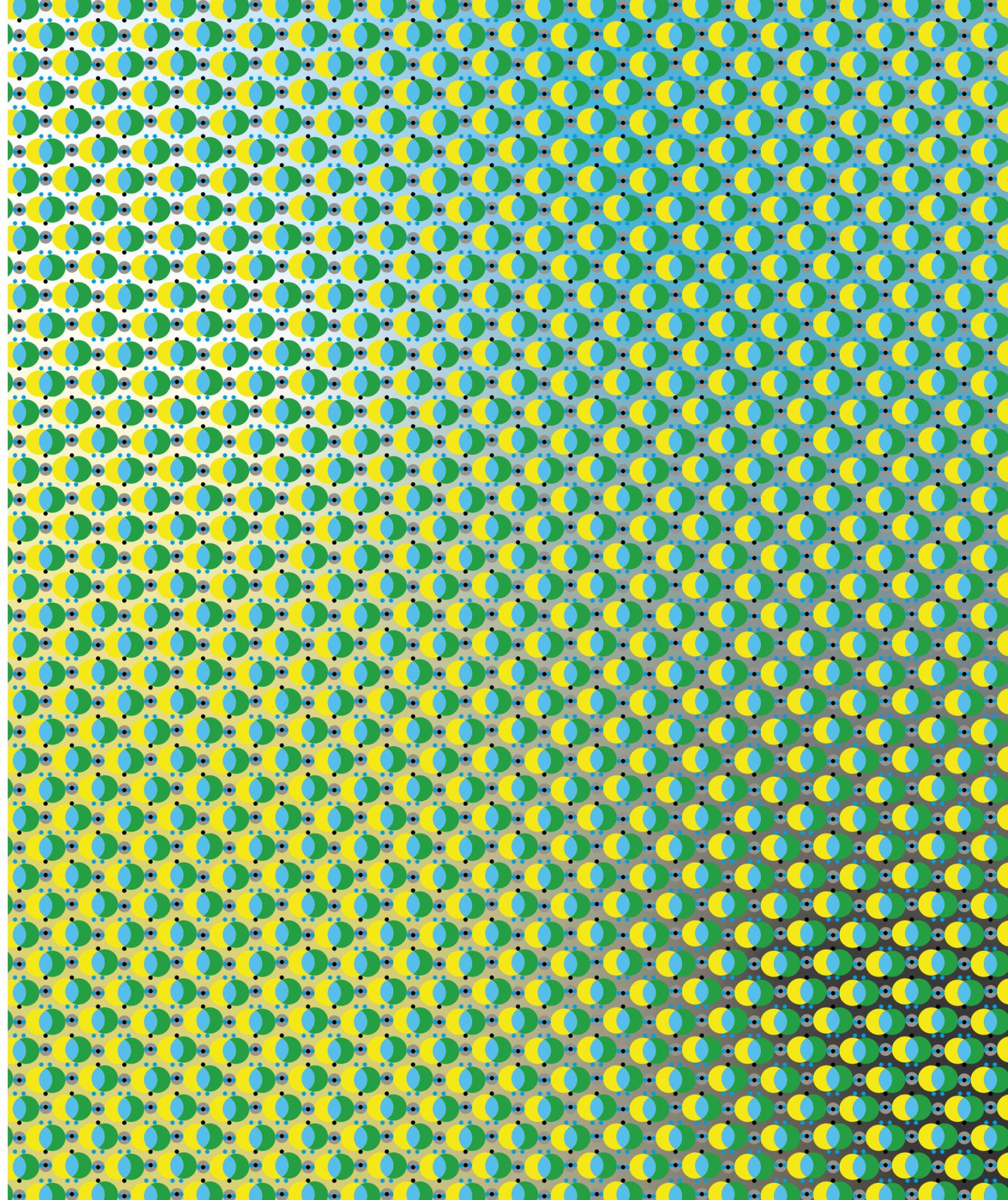
2021 war ein tolles, glückliches Jahr für mich. Wir hatten gerade eine neue Art von Katalysatoren entdeckt, die besonders reaktiv und selektiv waren. Sie bedeuteten den Durchbruch in der Organokatalyse und führten dazu, dass diese Technologie heute quasi überall eingesetzt wird in der Medikamentenherstellung und sogar in der Grosschemie. Als dann noch der Nobelpreis kam, war das natür-

lich eine riesige Überraschung und wunderschön. Ich habe mich schon kurz gefragt: Was mache ich eigentlich jetzt noch? Aber ich merkte, dass ich einfach gerne Forschung betreibe mit den tollen Menschen, mit denen ich hier zusammenarbeite. Und so bin ich eigentlich da, wo ich schon vorher war.

*Gibt eine Anerkennung wie der Nobelpreis einem auch die Narrenfreiheit, um etwas Verrücktes wie die Spaltung von CO<sub>2</sub> auszuprobieren? Oder hemmt es einen, weil man seinen Ruf als erfolgreicher Chemiker aufs Spiel setzt?*

Es ist eine gewisse Unsicherheit da, ein Kribbeln – ein bisschen wie damals bei der Entdeckung der Organokatalyse. Auch damals hatte ich diese Gedanken: Wieso macht es keiner ausser mir? Ist es eine Schnapsidee und das wissen die Chemiker? Aus Angst, meinen Ruf zu verlieren, hätte ich damals nie öffentlich darüber gesprochen. Heute ist es anders. Die ganze Sache ist ja entstanden, weil ich seit ein paar Jahren in Vorträgen immer sage, an einer solchen künstlichen Photosynthese-Reaktion sollte die nächste Forscher-Generation arbeiten. Dank der Werner Siemens-Stiftung mache ich es nun selbst. Es kann sein, dass ich scheitere. Aber heute, mit einem Nobelpreis, bin ich entspannt. Ich denke einfach: Man muss es versuchen.

«Ich dachte nicht, dass ich deswegen den Nobelpreis bekommen könnte.»

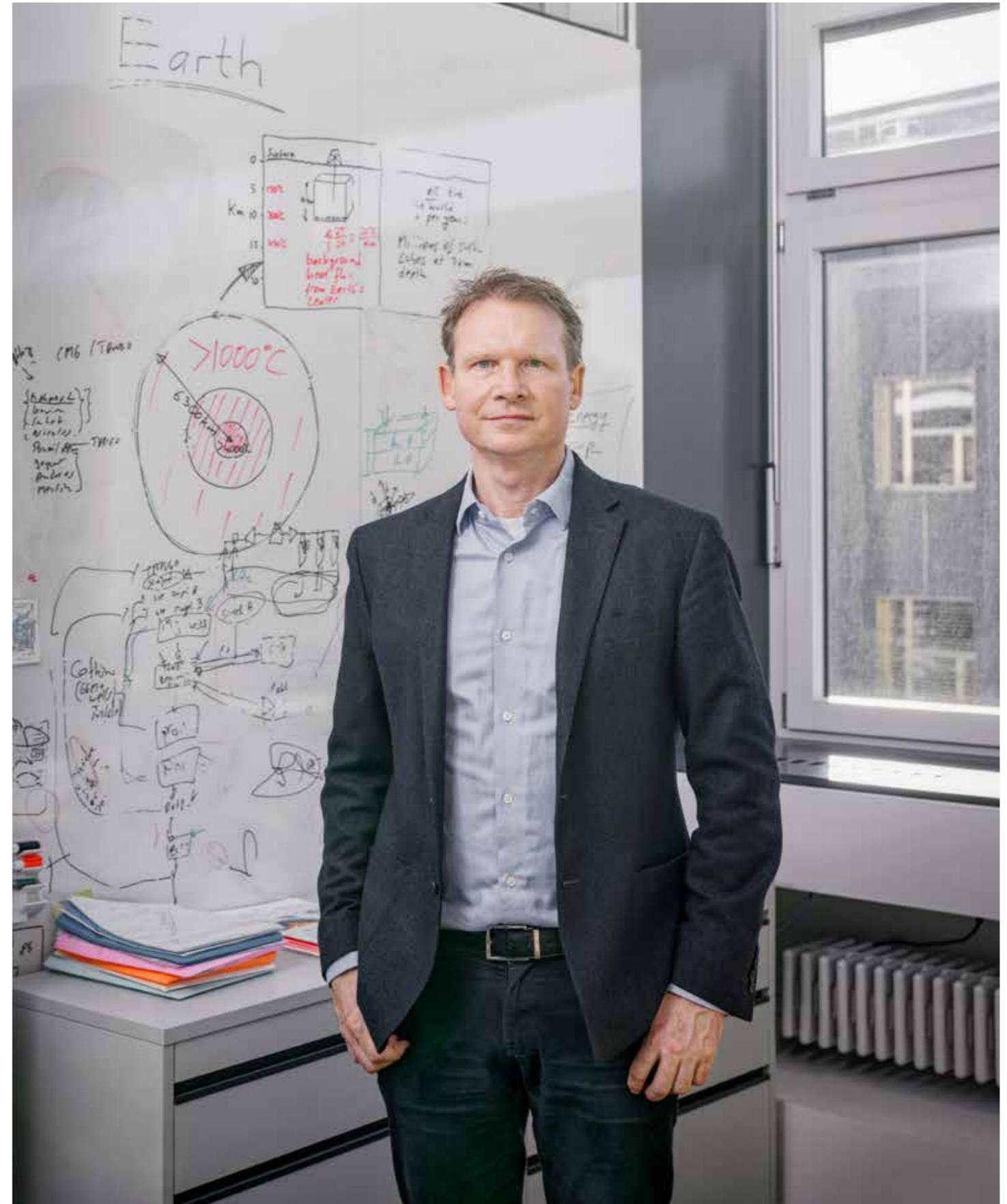


# Die Erdkruste in der Röhre

Neues Folgeprojekt «Tiefengeothermie»

# Genauer Blick ins Gestein

Seit zehn Jahren unterstützt die Werner Siemens-Stiftung (WSS) die Geothermie- und Geofluidforschung von Professor Martin Saar von der ETH Zürich. Mittlerweile sind aus einigen seiner Entwicklungen Industriekooperationen entstanden. Und in einem neu bewilligten Folgeprojekt will er geologische Reservoirs quasi ins Labor holen.



Wer das Erdinnere untersuchen will, muss sich etwas einfallen lassen. Denn die Erdkruste ist noch unzugänglicher als die Tiefsee oder das Weltall. Man kann weder in sie eintauchen noch in einem Raumschiff hinfliegen. Geophysiker wie Martin Saar, Werner Siemens-Stiftungsprofessor für Geothermische Energie und Geofluide (GEG) an der ETH Zürich, greifen deshalb auf andere, oft indirekte und aufwändige Methoden zurück, um mehr über den Zustand und die Vorgänge im Untergrund zu erfahren.

Einen Eindruck davon bekommt, wer die Laborräumlichkeiten der Forschungsgruppe besucht. Auf einem Labortisch liegen einige gut fünf Zentimeter lange, zylinderförmige Granitstücke. Diese Miniaturen dienen der Untersuchung von Vorgängen in tiefen Gesteinsschichten. Martin Saar zeigt auf eine Anlage mit diversen Schläuchen und einem Stahlzylinder. «Darin können wir die Granitkerne auf bis zu 200 Grad erhitzen und einem Porenwasserdruck von bis zu 1000 bar aussetzen.» Das entspricht den Verhältnissen in rund zehn Kilometern Tiefe. Durch winzige Poren, Spalten oder Risse im Granitkern pressen die Forschenden Fluide – also Flüssigkeiten oder Gase – und messen Fließgeschwindigkeiten oder Veränderungen im Gestein.

Weitere Messmöglichkeiten bieten die 3D-Drucker, die an der Fensterfront des Labors stehen. Mit ihnen

drucken die Forschenden Kunststoffelemente mitsamt haarfeinen Rissen, welche Klüfte im Gestein simulieren. Durch sie fließt ein Fluid, dem die Forschenden fluoreszierende Partikel zusetzen. So können sie das Flussverhalten unter den jeweiligen Bedingungen beobachten.

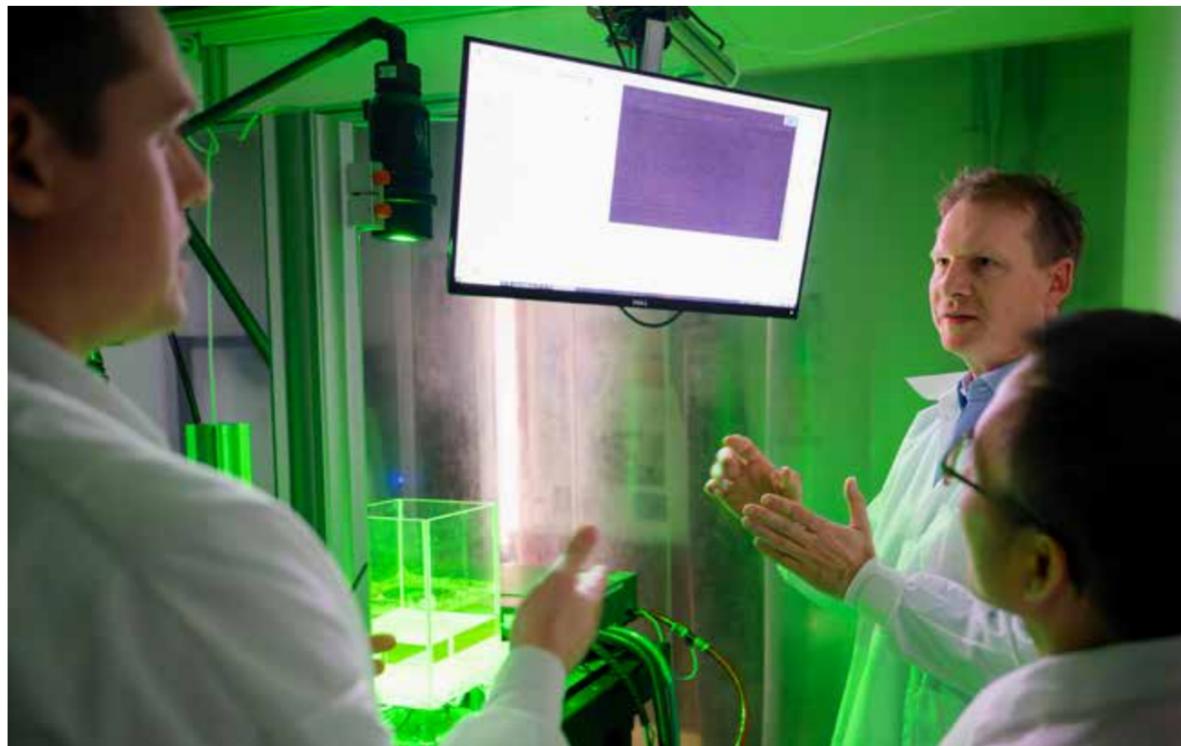
#### Beratung für Geothermieprojekte

Manche Untersuchungen sind eher Grundlagenforschung, andere sehr angewandt. Denn die GEG-Forschungsgruppe von Martin Saar hat sich auch zum Ziel gesetzt, die Tiefengeothermie voranzubringen, welche die Menschheit mit nachhaltiger Energie aus dem Erdinnern versorgen könnte. Bis heute ist es eine Herausforderung, geothermische Reservoirs zu nutzen. Da die Energie aus mehreren Kilometern Tiefe gewonnen wird, sind die Bohrkosten enorm. Und weil der Untergrund derart schwierig zu vermessen ist, stossen die Initianten von Tiefengeothermie-Projekten bei Probebohrungen allzu oft auf ungeeignete Gesteinsschichten.

Er stelle aus der geothermischen Industrie und aus der Politik ein immer stärkeres Interesse an wissenschaftlicher Beratung fest, sagt Martin Saar. Darauf reagiert er nun, indem er ein Konsortium für die Geothermie in der Schweiz aufbaut. Leiten wird dieses Projekt Dieter Werthmüller, ein erfahrener Geophysiker, den Saar kürzlich nach Zürich geholt hat. Die Idee ist es, mit



Eine Visualisierung des neu geplanten MRI-Labors: Geologische Reservoirs werden im 3D-Drucker (rechts) gedruckt, auf Experimentierwagen (links) vorbereitet und zur Messung ins MRI-Gerät (Mitte) geschoben.



Im Laserlabor untersuchen Martin Saar (Mitte) und sein Team das Fließverhalten von Flüssigkeiten und Gasen.

der Unterstützung von interessierten Firmen und Behörden die wissenschaftlichen Grundlagen für Geothermieprojekte in der Schweiz zu legen – zum Beispiel geeignete Untergrundkarten.

Zudem bietet das Konsortium Beratung für konkrete Projekte an. Mehrere bisherige Projekte in der Schweiz seien daran gescheitert, dass man schlicht nicht die erwarteten Gesteinsschichten angetroffen habe, sagt Saar. «Wir möchten dazu beitragen, dass die Bohrungen künftiger Geothermieprojekte weniger aufs Geratewohl erfolgen.»

Dazu reichen Laborexperimente nicht, Feldstudien sind ebenso wichtig. Eine wichtige geophysikalische Methode, auf die Saars GEG-Gruppe spezialisiert ist, heisst Magnetotellurik. Dabei wird die dreidimensionale elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes bestimmt, indem sekundäre elektromagnetische Felder an der Erdoberfläche gemessen werden, die im Untergrund durch den Sonnenwind erzeugt werden. Die elektrische Leitfähigkeit des Untergrundes hängt auch von der Durchlässigkeit des Untergrundes für Fluide ab. «Die Magnetotellurik kann uns dabei helfen, potenzielle Standorte für hydrothermale Geothermiekraftwerke und die geologische CO<sub>2</sub>-Speicherung zu bestimmen, da all diese Prozesse auf ein durchlässiges Reservoir im tiefen Untergrund angewiesen sind», erklärt Martin Saar. Dieter Werthmüller sei ein Experte auf dem Gebiet der Magnetotellurik, was diesem Forschungsfeld in seiner Gruppe weitere Dynamik verleihen werde.

Die beiden bekanntesten tiefengeothermischen Verfahren sind die hydrothermale Geothermie und die petrothermale Geothermie. Erstere nutzt durchlässige Gesteinsschichten in Tiefen von bis zu ungefähr 5000 Metern, in denen Wasser natürlicherweise zirkuliert. Letztere erschliesst Erdwärme aus kompaktem, undurchlässigem Gestein in 5000 bis 7000 Metern Tiefe. Daneben gibt es neuere Verfahren, die von Saars Forschungsgruppe stark mitgeprägt sind. Die CPG-Methode (CO<sub>2</sub>-Plume Geothermal) wurde vor 15 Jahren gar von Martin Saar miterfunden. Die Idee ist es, das Klimagas CO<sub>2</sub> in ein geeignetes Reservoir zweieinhalb bis fünf Kilometer unter dem Boden zu pressen, wo es sich auf mindestens 100 Grad Celsius erwärmt.

#### Ein Konsortium und ein Grossprojekt

Diese Wärme lässt sich mit einem Kreislauf nutzen: Das erhitzte CO<sub>2</sub> wird an die Oberfläche gebracht, treibt dort Turbinen zur Stromproduktion an, wird abgekühlt – und wieder im unterirdischen Lager versenkt, so dass letztlich alles anfänglich injizierte CO<sub>2</sub> permanent im tiefen Untergrund gespeichert wird. CO<sub>2</sub> ist viel weniger zähflüssig als Wasser und dehnt sich bei der Erwärmung viel stärker aus. Das führt zu einer grösseren Wärmeproduktionsrate und soll es ermöglichen, auch aus weniger durchlässigen Gesteinsschichten mit relativ geringen Temperaturen wirtschaftlich Energie oder Strom zu gewinnen.



Oberassistent Xiang-Zhao Kong ist Experte dafür, die Resultate von Laborexperimenten für Computer-Simulationen nutzbar zu machen.

Martin Saar hat vor zwei Jahren das CPG-Konsortium gegründet, welches die Machbarkeit dieses Ansatzes untersucht. Dem von Projektmanager Jasper de Reus aus Saars GEG-Gruppe geleiteten Konsortium gehören Firmen wie Shell, Petrobras, Holcim und Ad Terra Energy an – und neu werde es auch vom Schweizer Bundesamt für Energie unterstützt, sagt Saar. In einer ersten Phase geht es darum, weltweit mögliche Reservoirs auf ihre Eignung zu untersuchen. Nach weiteren Abklärungen wird dann ein gross angelegtes Demonstrationsprojekt durchgeführt.

Ein anderes neueres Verfahren nennt sich AGS (Advanced Geothermal Systems). Dabei handelt es sich um eine Art tief in den Untergrund reichenden Wärmetauscher. In einem geschlossenen Kreislauf zirkuliert ein Fluid, das von unterirdischem Gestein erhitzt wird. Saar und sein Team untersuchen das Potenzial dieser Methode in einem Grossprojekt namens AEGIS-CH, das von der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung (Innosuisse) als Flagship-Projekt finanziert wird. Bei AGS werden zwei Bohrlöcher in fünf bis zehn Kilometern Tiefe mit mehreren U-förmigen Schlaufen verbunden. Erdwärme wird mithilfe von CO<sub>2</sub> als Zirkulationsflüssigkeit aus dem Gestein herausgeholt. Ein solches Kraftwerk könnte Energie für 500 bis 1000 Menschen liefern – und wäre vielerorts erstellbar, da es weitgehend Geologie-unabhängig ist.

#### Neue Bohrmethoden

Eines der grössten Probleme bei Projekten im tiefen Untergrund sind die Bohrkosten. «Überspitzt gesagt bohren wir noch immer wie in der Steinzeit – mit Reibung», sagt Saar. Wer mit herkömmlichen Methoden kilometertief ins Gestein eindringen will, braucht viel Zeit und Geld, denn die Bohrköpfe nutzen sich am harten Untergrund rasch ab. Im AEGIS-CH-Projekt untersucht Saar eine von ihm mitentwickelte Bohrmethode namens «Plasma-Pulse Geo Drilling» (PPGD). Dabei wird das Gestein nicht mechanisch aufgebrochen, sondern mit einer Art Elektroschock. Die Elektropulse sprengen das Gestein mittels Zugkraft, von unten nach oben. Das Verfahren benötigt nur ungefähr ein Viertel der Energie herkömmlicher Bohrverfahren und wäre so um einiges kostengünstiger.

Die Erforschung einer weiteren innovativen Bohrmethode will Saar neu aufnehmen und gemeinsam mit ETH-Zürich-Professor Alexander Barnes und Jasmin Schöznart, Postdoktorandin in Saars GEG-Gruppe entwickeln. «Dabei geht es um den Einsatz von Mikrowellen», erzählt er. Die Idee: Ein Gyrotron – ein enorm leistungsfähiger Mikrowellengenerator, wie er bei Kernfusionsreaktoren zum Einsatz kommt – schickt gebündelte HochenergieWellen in die Tiefe. «Das Gestein wird auf mehrere Tausend Grad Celsius erhitzt und verdampft», sagt Saar.

All diese Projekte treibt Saar unter anderem dank einer zehnjährigen Förderung der Werner Siemens-Stiftung voran. Die Förderung läuft nun aus, doch im vergangenen Jahr erhielt Saar von der WSS die Zusage für eine neue Förderphase, die für die nächsten zehn Jahre

mit insgesamt 15 Millionen Schweizer Franken dotiert ist. Mit einem höchst innovativen Ansatz soll das Projekt noch einmal ganz neue Einsichten in die komplexen Prozesse im Erdinneren ermöglichen.

Um aufzuzeigen, worum es geht, führt Saar seinen Besuch nun in einen zweiten Laborraum, in dem sich der gruppeneigene Computertomographie-Scanner (CT) befindet. Er erlaubt es, sogenannte reaktive Transportexperimente durchzuführen – also die chemische Wechselwirkung zwischen porösem Gestein und durchfliessendem Medium zu untersuchen. Gesteinsproben wie die Mini-Zylinder aus Granit werden geothermischen Drücken und Temperaturen ausgesetzt und von einem Fluid durchströmt. Im CT können die Forschenden dann in Echtzeit beobachten, wo sich Gestein auflöst, wo Mineralien ausgefällt werden und wo sich deswegen Fließwege verschliessen.

#### Ein massgefertigtes MRI-Gerät

Mittels dieses Verfahrens untersucht beispielsweise die Gruppe von Maren Brehme, Oberassistentin in Saars Team, welche Auswirkungen der Durchfluss von Fluiden im Verlauf der Jahre auf den Betrieb von geothermischen Kraftwerken hat. Brehme ist darauf spezialisiert, solche Probleme zu entdecken und zu lösen. In Indonesien, erzählt Saar, habe die Gruppe konkret aufgezeigt, wie sich die Produktionsrate von geothermischen Anlagen wieder erhöhen lasse.

Einen Nachteil haben CT-Scanner. Ihre Funktionsweise beruht auf Röntgenstrahlen, die je nach Dichte einer Struktur unterschiedlich stark abgeschwächt werden. «Deshalb können wir vor allem sehen, wie sich das Gestein verändert», erklärt Saar. «Unterschiede zwischen Gasen und wässrigen Lösungen oder deren Fließverhalten können wir kaum sichtbar machen.»

Dies möchte der Forscher in der neuen WSS-Förderphase ändern – mit einem weltweit wohl einzigartigen, spezialangefertigten Magnetresonanztomographen (MRI). Anders als CT-Scanner eignen sich MRI-Geräte zur bildlichen Darstellung von verschiedenen Fluiden. Vereinfacht gesagt, regt das MRI durch ein Magnetfeld bestimmte Atomkerne zur Schwingung an. Das Signal dieser Schwingungen lässt sich nutzen, um verschiedene Materialien voneinander zu unterscheiden.

Meist untersuchen MRI-Geräte Wasserstoffatome (H-1). Es gibt aber Geräte, die mehrere verschiedene Elemente messen, zum Beispiel Kohlenstoff-, Fluor-, Natrium- oder Xenon-Isotope. Ein solches multinukleares MRI-Gerät will Saar entwickeln und bauen lassen. «Die einzelnen Komponenten, die es dazu braucht, existieren alle – aber nicht in der Kombination, die wir benötigen», sagt er.

Der Forscher schätzt, dass Planung, Ausschreibung und Bau des Geräts ungefähr zwei Jahre dauern werden. Bis dann soll auch die zweite Komponente bereitstehen, die für die MRI-Experimente nötig ist: ein 3D-Drucker, der in der Lage ist, Keramik-Nachbildungen von Gesteinen mitsamt unterirdischen Lagerstätten, Reser-

voirs, Verwerfungen und Bohrlöchern zu drucken. Diese geologischen Formationen im Miniaturformat werden backsteingross sein – und trotzdem alle wichtigen geologischen Schichten und Strukturen enthalten: Moderne 3D-Drucker sind in der Lage, Schichten zu drucken, die so dünn sind wie ein Hundertstel eines Millimeters.

#### Mikroben produzieren Methan

Saar wird das MRI auch zur Erforschung einer weiteren Idee nutzen: die unterirdische Methan-Produktion. Dazu werden nachhaltig produzierter, «grüner» Wasserstoff und CO<sub>2</sub> gemeinsam mit ganz bestimmten Mikroorganismen in den Untergrund gebracht. Die winzigen Lebewesen nutzen die dort vorhandene Wärme, um die beiden Moleküle – CO<sub>2</sub>-neutral – in Methan umzuwandeln. Das Gas wird bei Bedarf an die Erdoberfläche geholt und als Energieressource in existierender Infrastruktur genutzt.

Diese sogenannte Methanogenese sei ein komplexer Vorgang, gerade im tiefen Untergrund, die zuerst im Labor untersucht werden sollte, sagt Saar. Dafür sei das MRI perfekt geeignet. «Wir können beobachten, wohin CO<sub>2</sub>, Wasserstoff, Mikroben und das produzierte Methan wandern und wo sie sich ansammeln. Aufgrund dieser Informationen können wir die Platzierung von Injektions- und Produktionsbohrungen optimieren.»

Die Daten solcher Experimente werden in Computer-Simulationen einfließen, die im GEG-Labor ebenfalls unverzichtbar sind. Ein Spezialist auf diesem Gebiet ist Oberassistent Xiang-Zhao Kong. Für seine Arbeit versprechen die neuen Daten aus den MRI-Untersuchungen – 3D-Temperaturfelder, Druckfelder und Geschwindigkeitsvektoren der verschiedenen Fluide und Mikroben – enorm wertvoll zu werden.

Die Bedeutung der neuen MRI-Anlage ist aber breiter. So ist eine Zusammenarbeit mit dem Centre for Origin and Prevalence of Life (COPL) an der ETH Zürich geplant, das vom Astronomen und Nobelpreisträger Didier Queloz geleitet wird. Forschende des COPL sind daran interessiert, wie sich Kohlenstoff und Mikroben im Gestein ansiedeln und wie Letztere sich dort vermehren. Im MRI lässt sich dies experimentell simulieren, was Hinweise auf die Entstehung des Lebens auf der Erde oder auf anderen Planeten geben wird.

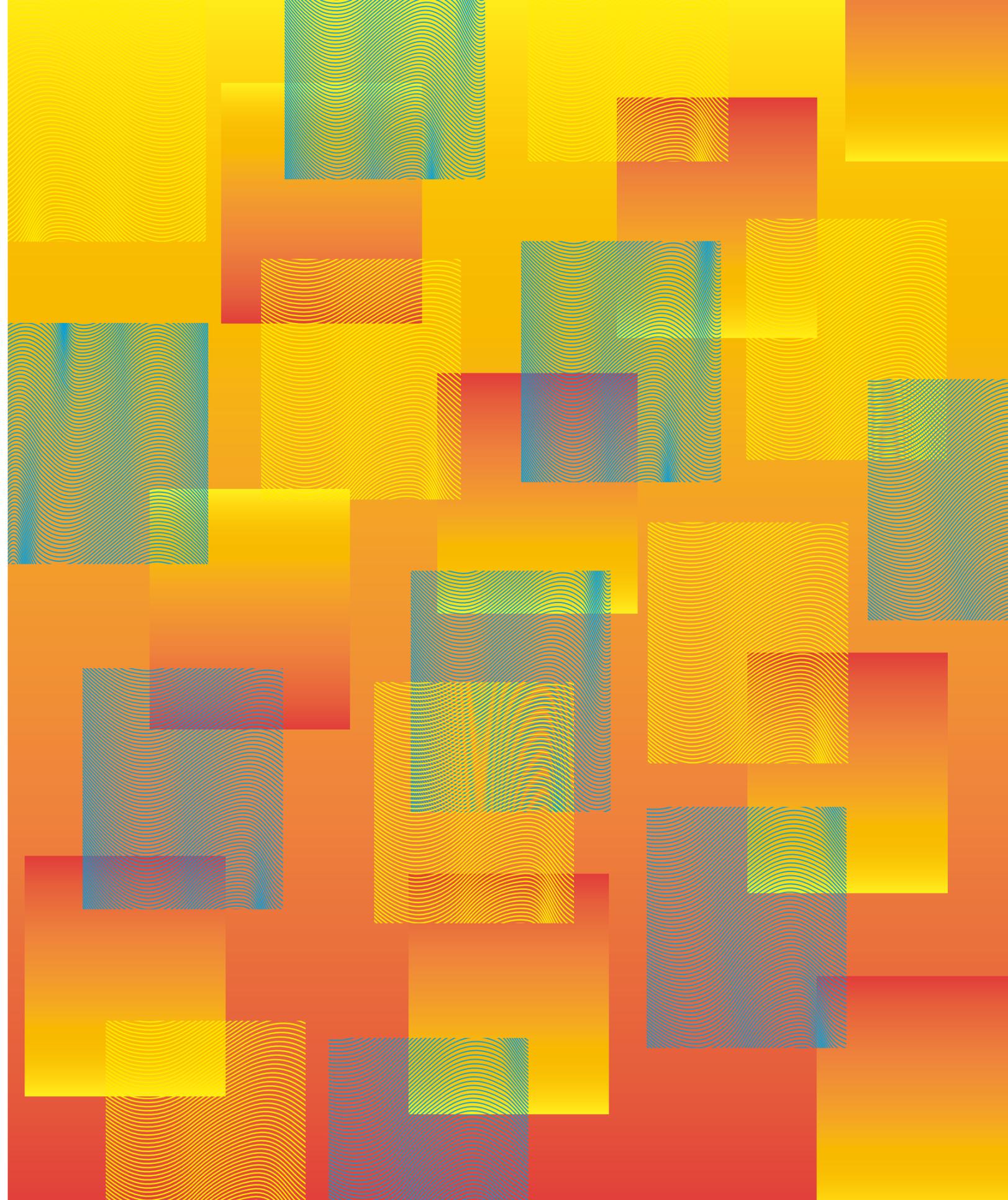
Nicht zuletzt gibt es bereits Interessenten aus der Kompressor- und Turbinenentwicklung, die das neuartige MRI-Gerät für ihre Untersuchungen nutzen möchten. Das ist ganz in Martin Saars Sinn, wie er sagt: «Solch ein massgefertigtes Gerät ist so teuer, dass man es praktisch rund um die Uhr auslasten sollte.» Die Investition, da ist er sich sicher, wird sich lohnen – weit über die Geowissenschaften hinaus.



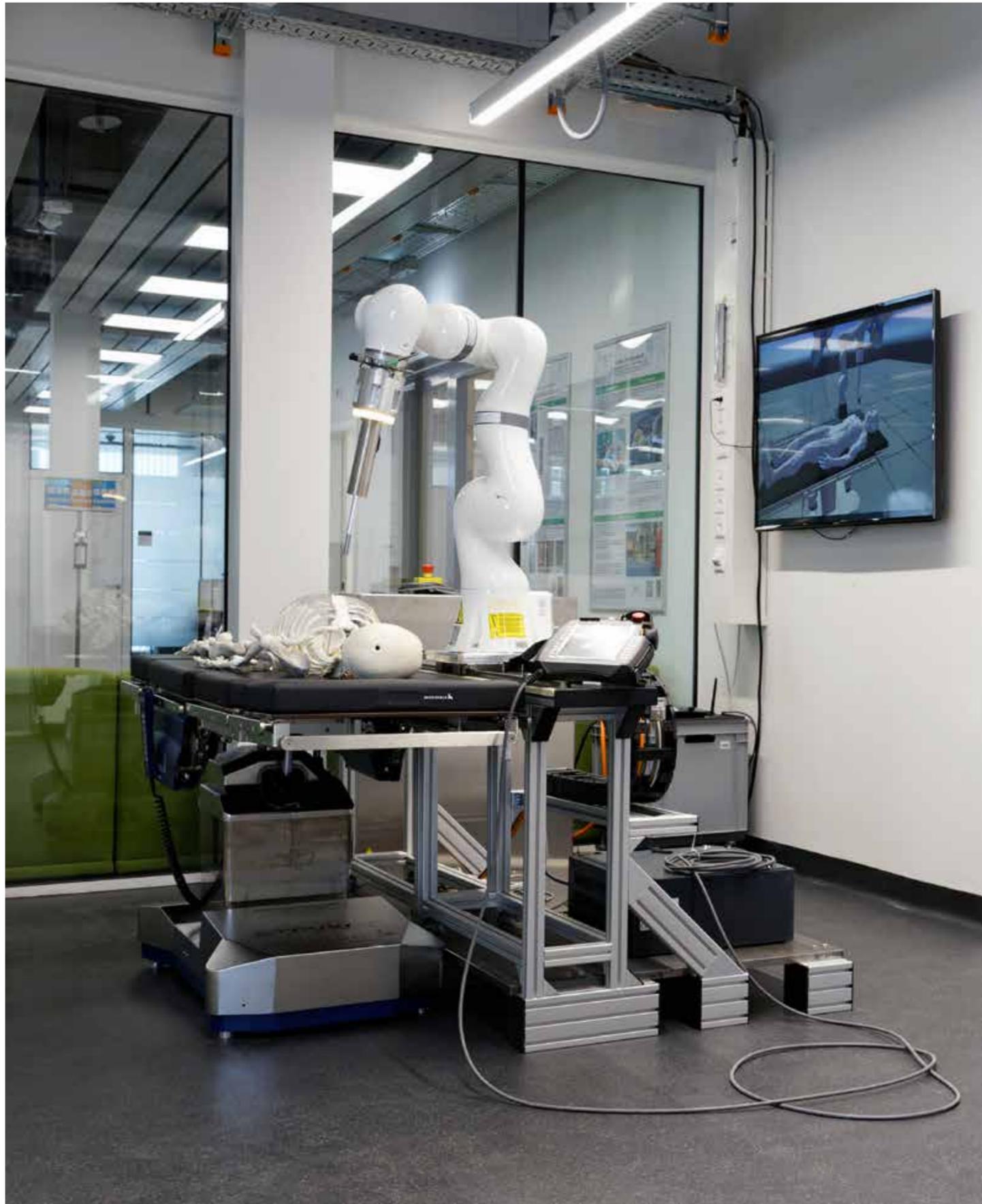
## Tiefengeothermie

Die Erdwärme ist eine der grössten brachliegenden Energiereserven des Planeten. Wie man sie im grossen Stil direkt oder für die Stromerzeugung nutzen kann, erforschen Professor Martin Saar und sein Team an der ETH Zürich. Unter anderem hat Saar gemeinsam mit Industriepartnern eine neue Bohrmethode entwickelt – und ein innovatives Verfahren, mit dem man das Klimagas CO<sub>2</sub> im Boden permanent versenken und gleichzeitig zur geothermischen Stromproduktion verwenden kann. In der zweiten Förderperiode setzt er einen Schwerpunkt auf ein weltweit wohl einzigartiges MRI-Gerät, mit dem sich darstellen lässt, wie sich Gase, Flüssigkeiten und Gesteine gegenseitig beeinflussen.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
10 Mio. Schweizer Franken (2015–2024)  
15 Mio. Schweizer Franken (2024–2034)  
**Projektdauer** 2015–2034  
**Projektleitung** Prof. Dr. Martin O. Saar,  
Professor für Geothermie und Geofluide,  
ETH Zürich



# Die Medizin von morgen



Medizinische Eingriffe werden immer genauer, ausgeklügelter und verträglicher für den Körper. Die von der Werner Siemens-Stiftung unterstützten Forschungsprojekte MIRACLE II, Smarte Implantate und TriggerINK tragen – jedes auf seine Weise – dazu bei, diese Entwicklung noch weiter voranzutreiben.

Präzision ist lebenswichtig, zumindest in der Medizin. Je exakter ein Tumor entfernt oder bestrahlt wird, desto besser stehen die Chancen auf eine Heilung. Je gezielter ein Medikament einen Krankheitserreger angreift, desto geringer sind die Risiken für Nebenwirkungen. Je hochauflösender eine Röntgenaufnahme oder eine MRT-Untersuchung, desto früher lässt sich eine Krankheit diagnostizieren.

Es gibt viele Ansätze, um medizinische Eingriffe und Untersuchungen präziser zu machen. Ein wichtiger ist die Miniaturisierung: Ein winziges Instrument beeinträchtigt den Körper weniger und hat weniger traumatische Folgen für die Patientin oder den Patienten. Kleinere, leichtere oder mobilere Geräte zu bauen, erfordert aber mehr als medizinisches Fachwissen: Die Medizin-

technik kombiniert deshalb das Fachwissen von Ärztinnen mit jenem von Ingenieuren, Informatikerinnen, Elektrotechnikern, Chemikerinnen, Biotechnologen und vielen mehr.

Ein Paradebeispiel für eine solche interdisziplinäre Zusammenarbeit findet sich am Department of Biomedical Engineering der Universität Basel. Hier forscht das Team von MIRACLE II an der Knochenchirurgie der Zukunft. Die Forschenden um Philippe Cattin, Georg Rauter und Florian Thieringer entwickeln ein robotergesteuertes Laserskalpell, mit dem sich Eingriffe minimalinvasiv und höchst präzise durchführen lassen – geplant und überwacht durch ein innovatives Virtual- und Augmented-Reality-System.

«Die Technologie für unser Traumgerät existiert noch nicht», sagt Philippe Cattin, Professor für Medizinische Bildanalyse. «Deshalb arbeiten wir in allen Forschungsbereichen an der Miniaturisierung und versuchen, die Grenzen des Möglichen zu verschieben – von der Robotikplattform bis zur Laseroptik.» Die Herausforderung: Nur wenn alle Teilbereiche heutige Limiten überwinden, kann der neuartige Chirurgieroboter dereinst zum Einsatz kommen.

Die Entwicklung des Roboters ist die Aufgabe von Georg Rauter, Professor für «Surgical Robotics». Geplant ist ein Instrument, das ähnlich funktioniert wie eine menschliche Hand: Der «Arm» wird dereinst im Operationssaal ausserhalb des Patienten platziert. Mit ihm steuert die Chirurgin einen fingerförmigen, mit Gelenken versehenen Fortsatz – den endoskopischen Minirobster.

#### Das Know-how der Uhrenindustrie

Rauters Team arbeitet an der Miniaturisierung beider Teile. Der hintere Teil ist momentan noch wichtig und nimmt im Operationssaal viel Platz ein. «Unser Ziel ist ein System, das sich in der Hand halten und am Operationstisch einhängen lässt», sagt Rauter. Der vordere Fingerteil des Robotersystems ist bereits enorm klein – er hat einen Durchmesser von bloss acht Millimetern. Gefertigt wurde er bislang aus Aluminium. Für einen Einsatz im Körper braucht es aber Materialien wie Titan oder rostfreien Stahl. «So etwas kann kaum jemand fertigen», sagt Rauter.

Glücklicherweise ist die Schweizer Uhrenindustrie spezialisiert auf den Bau von hochpräzisen Bauteilen aus rostfreiem Stahl und Titan. Rauter lässt deshalb einen Roboter von einer mechanischen Werkstätte fertigen, die für die Uhrenindustrie arbeitet. Es klinge vielleicht einfach, ein Bauteil aus anderen Materialien herstellen zu lassen, sagt Rauter. «Aber es ist ein grosser Schritt.»

In den winzigen Roboter integriert wird ein Laser, der den Knochen schneidet. Dafür zuständig ist das Team von Ferda Canbaz, Leiterin des Zentrums für intelligente Optik. «Um genügend Energie an die Spitze des Endoskops zu bringen, benötigten wir bisher ein Glasfaser-Bündel mit einem Durchmesser von ungefähr drei Millimetern», erzählt Ferda Canbaz. «Wir möchten aber die Laserenergie durch eine einzige Glasfaser bringen.»

Eine Idee, um dies zu bewerkstelligen: Man macht die Glasfaser selbst zum Lasermedium. «Man schießt mit einem Laser auf die Glasfaser, worauf sich das Laserlicht in der Glasfaser selbst erzeugt», erklärt Canbaz.

Philippe Cattins Gruppe wiederum hat zwei Technologien entwickelt, um jederzeit den Standort des Endoskops im Körper zu eruieren. Die erste beruht auf optischen Störungen in den Glasfasern. «Anhand der Störungen und reflektiertem Licht können wir die Biegung der Glasfaser bestimmen – und dadurch, wo sich der Roboter im Körper befindet.» Die zweite basiert auf winzigen, bloss einen Kubikmillimeter kleinen Winkelmessensoren, die den Standort anhand der Gelenkwinkel bestimmen. «Diese Sensoren sind ein schöner Erfolg», sagt Cattin. «Sie sind nicht nur viel kleiner als alles, was es auf dem Markt gibt, sondern auch bis zu 50-mal genauer.»

Dass Forschende verschiedene Techniken zur Lösung ein und desselben Problems entwickeln, ist nicht ungewöhnlich. Schliesslich wissen sie nie im Voraus, ob eine Idee funktioniert und bis zur Marktreife gebracht werden kann. Ein Beispiel dafür sind auch die Ideen, damit der smarte Laser nicht ins falsche Gewebe schneidet. Ferda Canbaz und ihr Team nutzen dazu einerseits eine spektroskopische Methode, die anhand von Plasmalicht bestimmt, welche Art von Gewebe gerade geschnitten wird. Andererseits ein optisches System, das auch die Tiefe und die Form des Schnitts sowie die Temperatur vor Ort misst.

Georg Rauters Robotikteam geht das Problem von einer weiteren Seite an. Es hat eine Technologie entwickelt, welche die Gelenke des Endoskop-Roboters statt mit einem Seil-Antrieb mit Federn verbindet. «Wenn das Endoskop irgendwo ansteht, reagiert diese Feder sofort – ohne dass der Roboter davon weiss», sagt Rauter. Damit lassen sich Stösse abfangen, die im Körper ein Gewebe zerstören könnten.

#### Ein heilendes Implantat

Wie MIRACLE II beschäftigt sich auch das Projekt Smarte Implantate an der Universität und am Universitätsklinikum des Saarlandes sowie am Zentrum für Mechatronik und Automatisierungstechnik (ZeMA) und am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) mit Knochenverletzungen. Das Ziel der Forschenden um die Professoren Bergita Ganse und Tim Pohlemann ist es, ein Implantat zu entwickeln, das nach komplizierten Knochenbrüchen den Heilungsprozess überwacht und durch eigene, aktive Bewegungen sogar anregt.

Um das zu ermöglichen, integrieren die Forschenden ganz spezielle Drähte aus Nickel und Titan in ihr Implantat. Es handelt sich um sogenannte Formgedächtnislegierungen, die abhängig von der Temperatur zwei unterschiedliche Zustände einnehmen können. Sie lassen sich also wie eine Art künstliche Muskeln hin und her bewegen – und übertragen auf kleinem Raum grosse Energien.

Mittels Simulationen haben die Saarländer Forschenden kürzlich in einer Publikation erstmals gezeigt, wie stark eine solche «Mikromassage» des Implantats sein sollte, um die Knochenheilung zu fördern. Je nach Fraktur und Heilungsphase, so das Resultat, darf die Bewegung des Implantats bloss zwischen 0,1 und 0,5 Millimeter betragen. «Dabei werden sehr grosse Kräfte übertragen, bis zu mehrere hundert Kilogramm», sagt Tim Pohlemann. Dieses Spannungsfeld zwischen Bewegungen im Mikro- und Kräften im Makrobereich ist eine Herausforderung.

Eine andere Schwierigkeit ist herauszufinden, welcher Patient zu welchem Zeitpunkt eine Mikromassage benötigt. Dazu müssen dem Implantat genaue Daten zu den Belastungen im Frakturspalt zur Verfügung stehen.



## MIRACLE II

Schonende, minimalinvasive, robotergesteuerte und hochpräzise Knochenoperationen – daran arbeiten die Forschenden des MIRACLE-II-Projekts an der Universität Basel. Sie entwickeln einen endoskopischen Laser-Roboter, der Knochen präzise schneidet. Winzige Sensoren und eine 3D-Software sorgen während der Operation für die Sicherheit der Patienten. Im spitaleigenen 3D-Druck-Labor werden Implantate hergestellt, die genau in den vorgeschrittenen Knochen passen. Das alles führt dazu, dass die operierten Knochen schneller zusammenwachsen als bisher.

#### Mittel der Werner Siemens-Stiftung

12 Mio. Schweizer Franken

Projektdauer 2022–2027

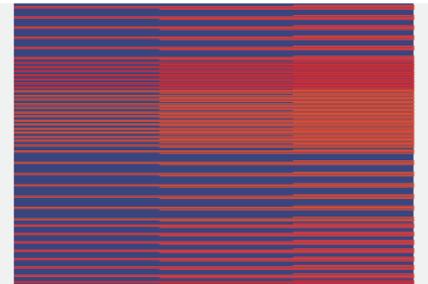
#### Projektleitung

Prof. Dr. Philippe Cattin, Department of Biomedical Engineering (DBE), Universität Basel

Prof. Dr. Dr. Florian M. Thieringer, DBE, Universität Basel und Universitätsspital Basel

Prof. Dr. Georg Rauter, DBE, Universität Basel

Basel



## Smarte Implantate

Intelligente Implantate sollen künftig direkt am Knochen überwachen, wie gut Schienbeinbrüche heilen. Sie stabilisieren den gebrochenen Knochen nicht nur. Sie liefern auch Informationen darüber, wie gut oder schlecht der Bruch verheilt, und warnen bei Fehlbelastungen. Falls die Heilung nicht optimal verläuft, reagiert das Implantat. Es regt den Heilungsprozess über gezielte Mikrobewegungen direkt an der Bruchstelle aktiv an. Am Projekt Smarte Implantate arbeitet ein Forschungsteam am Universitätsklinikum des Saarlandes.

#### Mittel der Werner Siemens-Stiftung

8 Mio. Euro

Projektdauer 2019–2025

#### Projektleitung

Prof. Tim Pohlemann, Prof. Bergita Ganse, Universitätsklinikum des Saarlandes



Mithilfe eines Demonstrators zeigen die Forschenden des Projektes Smarte Implantate auf, wie ihr intelligentes Implantat funktioniert.

Solche Daten erheben die Forschenden einerseits durch Sensoren in dem intelligenten Implantat selbst und andererseits mit Sensor-Einlegesohlen in den Schuhen. «Der klassische Weg wäre es, diese Daten zu sammeln, zu analysieren und dann wieder ans Implantat zu übermitteln», sagt Bergita Ganse. «Unsere Vision aber ist eine automatisierte, KI-gesteuerte Datenauswertung – auf diese Weise könnte das Implantat autark arbeiten.»

Schon jetzt haben die Forschenden eine Unmenge an Daten in ihrem Bewegungslabor gesammelt. Mit Druck-, Beschleunigungs- und Belastungssensoren bestückte Messsohlen zeichnen hier Daten von Patienten auf. «Wir haben sehr viel gelernt darüber, wie sich diese Parameter bei Patienten mit einem guten Heilungsverlauf verändern – und wie bei einem schlechten Verlauf», sagt Bergita Ganse. «Inzwischen können wir anhand der Gang- und Bewegungsdaten frühzeitig abschätzen, ob ein Knochenbruch gut heilt oder nicht.»

Auch in einem weiteren, entscheidenden Punkt ist das Team vorangekommen. «Wir haben uns gefragt, wie wir dereinst nachweisen können, dass das Implantat einen Effekt hat», erklärt Bergita Ganse. Die Lösung ist eine Messung der Durchblutung der Frakturgewebe. Die Forschenden konnten zeigen, wie sich die Durchblutung und die Sauerstoffsättigung im Verlauf einer problemlosen Frakturheilung verändern. Mit diesem Wissen können sie in Zukunft messen, ob eine Massage des Knochenbruchs, wie von ihnen vermutet, diese Parameter verbessert.

#### Das Potenzial ist enorm

Noch ist das smarte Implantat allerdings weit von der Marktfähigkeit entfernt, wie Tim Pohlemann sagt. Im Moment besteht ein Demonstrator. Schon bis daraus ein Prototyp wird, braucht es noch diverse Entwicklungsschritte. Und es wird Jahre dauern, bis ein solch hochkomplexes, autoregulatives Produkt, das in den Körper gebracht wird, auf dem Markt zugelassen werden kann. «Wir müssen viele Schritte vorausdenken – aber gleichzeitig dort vereinfachen, wo es möglich ist.»

Ein Beispiel ist die Steuerung der Bewegungen des Implantats im Körper. «In ersten Annahmen gingen wir davon aus, dass sich das Implantat in alle Richtungen frei im Raum bewegen lassen muss», erzählt Tim Pohlemann. «Aber bei den Kräften, die wir benötigen, ist das mechanisch kaum beherrschbar.» Deshalb arbeiten die Forschenden nun an Lösungen, welche die Bewegungsrichtung etwas einschränken – aber dafür viel einfacher zu fertigen sind. «Wahrscheinlich brauchen wir nicht alle Bewegungsrichtungen.»

Tim Pohlemann und Bergita Ganse sind überzeugt: Die Möglichkeiten von smarten Implantaten nach dem Saarländer Vorbild gehen weit über die Behandlung von Knochenbrüchen hinaus. «Wir schauen quasi durch die Haut und beeinflussen von aussen Abläufe im Körper. Das Potenzial eines solchen Ansatzes ist enorm», sagt Pohlemann. Ein Beispiel sei die Behandlung von Osteoporose oder von bestimmten Knochentumoren, die

Knochen langsam zersetzen. Ein minimalinvasiv eingebrachtes Implantat könnte in solchen Fällen einerseits die Knochenstabilität erhöhen und andererseits als Sensor dienen. Meldet der Sensor eine Abnahme der Stabilität, kann der Chirurg eingreifen, bevor es zu spät ist.

Auch beim Projekt TriggerINK am DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien in Aachen geht es darum, Heilungsvorgänge im Körper von aussen zu beeinflussen. Ziel der Forschenden um Laura De Laporte, Stefan Hecht, Andreas Herrmann und Matthias Wessling ist eine neuartige Strategie zur Regeneration von beschädigtem Knorpelgewebe – zum Beispiel bei Arthrose. Vereinfacht gesagt, soll im beschädigten Gelenk mithilfe einer gelatineartigen Substanz, einer speziellen Bio-Tinte, ein stützendes Gel-Gerüst gebildet werden. Danach bringen die Forschenden mithilfe innovativer Techniken und Materialien das Knorpelgewebe dazu, sich entlang dieses Gerüsts zu regenerieren.

TriggerINK steht exemplarisch für einen Paradigmenwechsel in der Medizin. «Seit einigen Jahrzehnten kommt man weg von konventionellen chirurgischen Eingriffen, hin zu minimalinvasiven oder gar regenerativen Strategien», sagt Laura De Laporte, Professorin für Makromolekulare Materialien für die Medizin an der RWTH Aachen und Mitglied der wissenschaftlichen Leitung am DWI.

Zuerst bestand der regenerative Ansatz meist darin, Ersatzgewebe im Labor zu kultivieren und es dann in den Körper zu implantieren. «Das klappte leider oft nicht gut – das kultivierte Gewebe integrierte sich schlecht in das umgebende Körpergewebe», sagt Laura De Laporte. Als man begann, Gewebe direkt im Körper wachsen zu lassen, stiess man auf ein anderes Problem: Am Wachstum beteiligt sind oft Proteine oder Signale, die für die Embryonalentwicklung oder Wundheilung wichtig sind. Aber diese Faktoren finden sich eben auch beim Tumorwachstum.

«Man muss aufpassen, mit solchen Ansätzen kein ungebremstes Wachstum zu provozieren», betont De Laporte. Ein neuer Ansatz ist es deshalb, Materialien mit Funktionen zu programmieren, die sich steuern und dosieren lassen. «Genau das versuchen wir in TriggerINK», sagt De Laporte. Als Werkzeuge dazu dienen den Forschenden Magnetfelder, Photochemie, Ultraschall und sogenannte Mechanobiologie.

#### Molekularschalter mit sichtbarem Licht

Die Photochemie ist die Domäne von Stefan Hecht, Einstein-Professor an der Humboldt-Universität in Berlin und assoziierter Wissenschaftler am DWI. Sein Team arbeitet an einer innovativen Methode, um die Polymere Moleküle, aus denen die Bio-Tinte besteht, zu einer gitterähnlichen Struktur zu verbinden. Die Idee: Die Bio-Tinte wird in die Wunde gebracht und dort mit Licht einer bestimmten Wellenlänge bestrahlt. Diese Bestrahlung regt Moleküle in der Tinte an, sodass sie sich an bestimmten Stellen vernetzen. Dadurch entsteht ein strukturiertes Stützgerüst aus Gel, welches das Knorpelgewebe für sein Wachstum braucht.

Diese Vernetzung funktioniert bereits mit UV-Licht. «Aber unser Ziel ist es, dafür zellschonenderes, sichtbares Licht zu verwenden», sagt Stefan Hecht. Diese Verlagerung der Wellenlänge ist ein hartes Stück Forschungsarbeit. «Wir haben eine ganze Menge verschiedener Moleküle entworfen – und die ersten haben nicht funktioniert.» Kürzlich aber habe sein Team einen Treffer gelandet und den Nachweis erbracht, dass das Prinzip solcher molekularer Photoschalter mit sichtbarem Licht machbar ist.

Die Forschenden haben ebenfalls bereits optimale Parameter, etwa die Steifigkeit, des Hydrogels bestimmt, die dem Gewebe eine rasche Regeneration ermöglichen. Und sie sorgen dafür, dass das Wachstum in die richtige Richtung erfolgt. Das geschieht mittels

stäbchenförmiger Mikropartikel in der Bio-Tinte, die durch ein magnetisches Feld räumlich ausgerichtet werden. Erste Resultate zeigen, dass sich Stammzellen in derart orientierten Stützgeweben besser zu Knorpelzellen differenzieren.

Selbst wenn die Hydrogel-Parameter und -Ausrichtung perfekt sind, benötigen die Stammzellen Hilfe bei der Differenzierung zu Knorpelzellen und letztlich bei der Geweberegeneration. Deshalb integrieren die Forschenden biologisch aktive Moleküle in die Bio-Tinte, die das Zellwachstum fördern. Die Gruppe von Andreas Herrmann arbeitet an Methoden, um diese Moleküle durch Ultraschall-Signale von aussen freizusetzen – zur gewünschten Zeit und am richtigen Ort tief im regenerierten Gewebe.

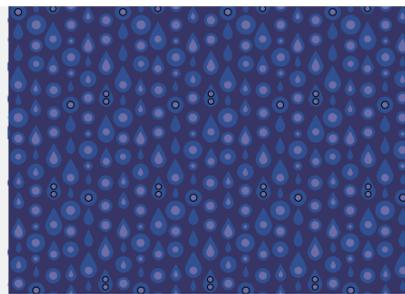
#### Gezielte Freisetzung von Molekülen

Im vergangenen Jahr zeigten die Forschenden anhand eines immunstimulierenden Moleküls erstmals in lebendigen Tieren, dass eine solche lokale Freisetzung durch Ultraschall möglich ist. Sie injizierten die Verbindung in die Schwanzvene von Mäusen und warteten, bis sie sich über die Blutgefässe in den ganzen Körper ausgebreitet hatte. Danach aktivierten sie die Moleküle mittels Ultraschall – und zwar ganz gezielt nur in der Leber der Tiere.

Ähnlich wie Smarte Implantate untersucht auch TriggerINK Möglichkeiten, um die Heilung mittels Stimulationen zu fördern. Aber in einem noch kleineren Massstab: Statt eines sich bewegenden Implantats benutzen die Aachener Forschenden Mikrogele in Kombination mit Nanopartikeln aus Gold. Diese Nanopartikel werden von aussen mit ungefährlichem Infrarotlicht aktiviert, das ins gedruckte Gelkonstrukt eindringt. Durch das Pulsieren des Lichts ziehen sich die Mikrogele in regelmässigen Abständen, zum Beispiel jede Sekunde, zusammen und dehnen sich wieder aus.

«Auch hier haben wir einen grossen Schritt gemacht», erzählt Laura De Laporte. «Erste Tests zeigen, dass die von uns synthetisierten und in Bewegung versetzten Mikrogele tatsächlich die Zellen aktivieren.» Damit ist die erste Voraussetzung erfüllt, dass eine solche Stimulation die Wachstums- und Regenerationseigenschaften des Knorpelgewebes beeinflussen kann.

Die drei von der Werner Siemens-Stiftung geförderten Projekte sind also auf gutem Kurs. Und trotz der Unterschiede verfolgen sie letztlich ein ähnliches Ziel: die Medizin von morgen besser, verträglicher, weniger invasiv und weniger traumatisch zu machen.



## TriggerINK

Beschädigtes Knorpelgewebe mithilfe eines Stützgerüsts aus Bio-Tinte nachwachsen zu lassen: Das ist das Ziel des Projekts TriggerINK am DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien in Aachen. Die Bio-Tinte wird mit einem 3D-Drucker in die Wunde gedruckt, mit Licht vernetzt und mithilfe eines Magnetfeldes ausgerichtet. Danach werden die in der Tinte enthaltenen Wirkstoffe und Wachstumsfaktoren von aussen zur gewünschten Zeit durch Ultraschall aktiviert oder freigesetzt. Funktioniert das Prinzip, verspricht es ganz neue Möglichkeiten in der Knorpelregenerationstherapie.

#### Mittel der Werner Siemens-Stiftung

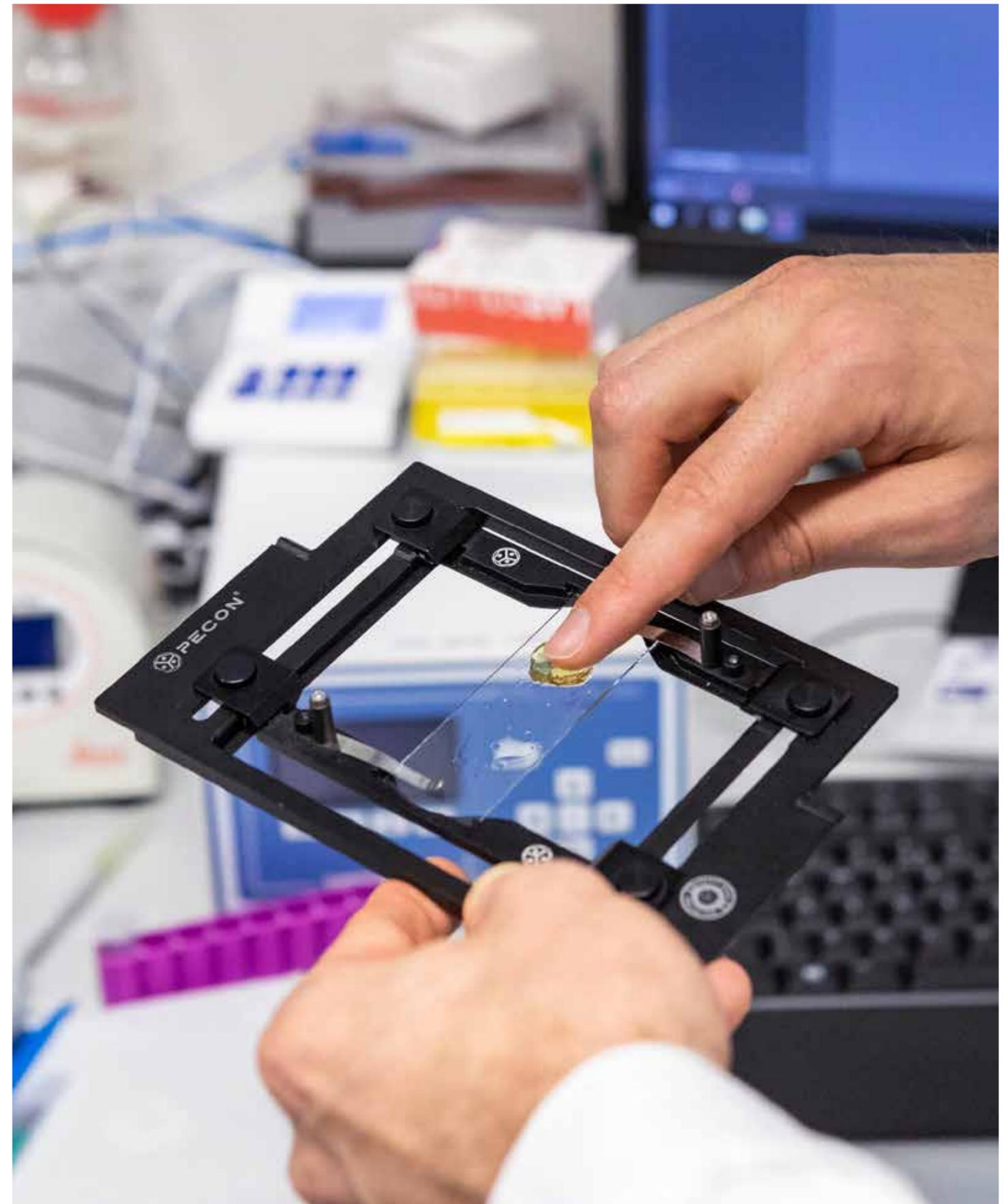
10 Mio. Euro

Projektdauer 2022–2026

#### Projektleitung

Prof. Dr.-Ing. Laura De Laporte,  
DWI – Leibniz-Institut für Interaktive  
Materialien und RWTH Aachen  
Prof. Dr. Stefan Hecht, Humboldt-  
Universität zu Berlin, assoziierter  
Wissenschaftler am DWI Aachen  
Prof. Dr. Andreas Herrmann, DWI und  
RWTH Aachen  
Prof. Dr. Matthias Wessling, DWI und  
RWTH Aachen

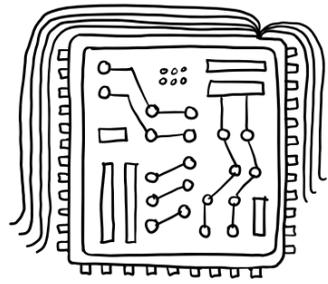
Noch wird die Biotinte des Projekts TriggerINK auf dem Objektträger untersucht. Dereinst soll sie im Kniegelenk die Knorpelheilung ankurbeln.



# Zwölf kuriose Kleinigkeiten

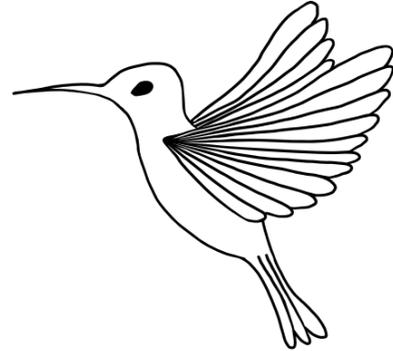
Von den Mikroorganismen bis zu den Mikrochips:  
Die Welt des Winzigen birgt so manches Erfolgsmodell –  
und noch mehr verblüffende Fakten.





### Haarfeine Mikrochips

Die Miniaturisierung der Computertechnologie setzt sich fort. Der Abstand zwischen den Leiterbahnen auf modernen Mikrochips beträgt noch zwölf Nanometer – menschliche Haare sind fünftausend Mal dicker. Würde man den allerersten, 27 Tonnen schweren kommerziellen Computer mit heutiger Technik nachbauen, so wäre er für unser Auge unsichtbar.



### Elfen der Lüfte

Der kleinste Vogel der Welt ist die Bienenelfe – eine Kolibri-Art auf Kuba. Die Männchen sind bloss fünf Zentimeter lang und zwei Gramm schwer, die Weibchen etwas grösser. Ihr Herz schlägt achtmal, ihre Flügel achtzig Mal pro Sekunde. Um zu überleben, müssen die Elfen jeden Tag die Hälfte ihres Körpergewichts an Nektar aufnehmen.



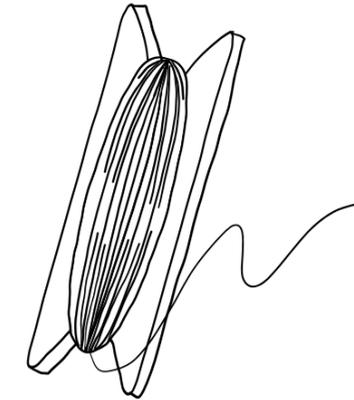
### Fieser Feinstaub

Ausgerechnet der feinste Feinstaub, den auch moderne Partikelfilter nicht aus der Luft bekommen, ist für die Gesundheit am gefährlichsten: Weil die Teilchen so klein sind, können sie besonders tief in die Lunge und auch ins Gehirn vordringen. Die Folgen bei anhaltender Exposition sind Atemwegserkrankungen und eine verminderte geistige Leistungsfähigkeit.



### Die kleinsten Augen

Cyanobakterien besitzen die kleinsten Augen der Welt. Respektive: Sie sind die kleinsten Augen der Welt. Denn jeder einzelne dieser runden Einzeller fungiert als winziger Augapfel – an der Zelloberfläche wird das Licht gebrochen und an der gegenüberliegenden Zellwand gebündelt. So können Cyanobakterien die Lichtrichtung erkennen und sich auf eine Lichtquelle zubewegen.



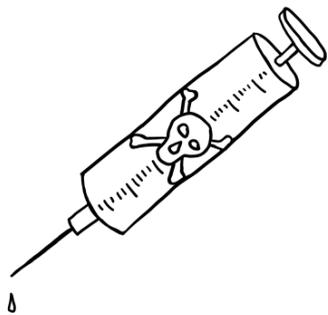
### Hauchdünnes Gold

Das dehnbare aller Metalle ist Gold. Aus einem einzigen Gramm liesse sich theoretisch ein ultrafeiner Faden von 24 Kilometern Länge ziehen. Dieser wäre tausendmal dünner als ein Blatt Papier.



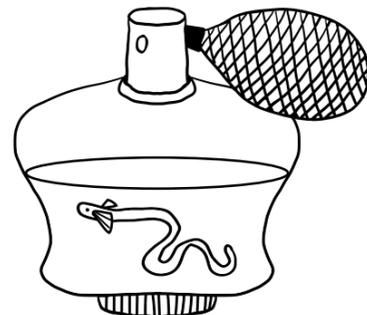
### Unreiner Rhein

Eine beliebige Probe aus dem Rhein bei Basel enthält etwa zweitausend bis dreitausend organische Substanzen, die meisten davon in sehr kleinen Konzentrationen. Der allergrösste Teil davon ist unbekannt – man weiss nicht mal, ob es sich um Mikroverunreinigungen oder um natürlich vorkommende Stoffe handelt.



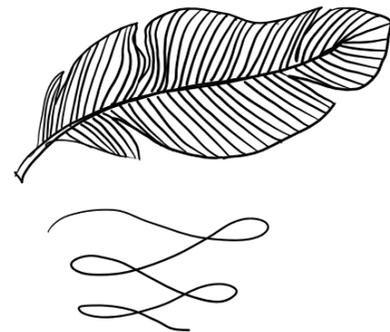
### Das giftigste Gift

Die tödlichste aller bekannten Substanzen ist Botulinumtoxin («Botox»): Schon ein Zehnmillionstelgramm kann einen Menschen töten. Paradoxerweise ist das muskellähmende Gift aber in der Medizin sehr nützlich – gegen Falten und Krämpfe.



### Gut riechender Fisch

Die vielleicht beste Nase im Tierreich hat der Europäische Aal: Er kann selbst Stoffe mit einer Konzentration von 1770 Molekülen pro Gramm Wasser noch wahrnehmen. Das entspricht einem Tropfen Parfüm in der dreifachen Wassermenge des Bodensees.



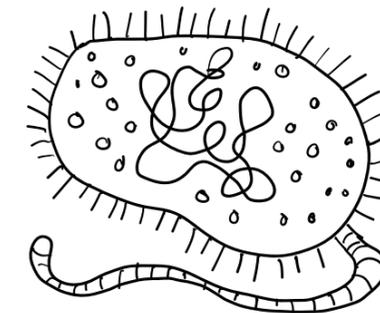
### Schwache Schwerkraft

Die Gravitation mag unseren Alltag mitbestimmen – physikalisch gesehen ist sie aber eine absurd schwache Kraft: Die elektromagnetische Kraft ist eine Sextillion (eine Zahl mit 36 Nullen) mal stärker. Nur so ist erklärbar, dass ein kleiner Küchens magnet einen Zettel am Kühlschrank zu halten vermag, obwohl die gesamte Erde diesen nach unten zieht.



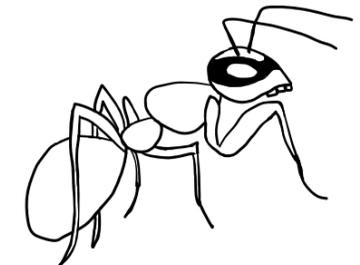
### Vom Sämchen zum Riesen

Der amerikanische Riesenmammutbaum mit dem Übernamen «General Sherman» gilt als grösster lebender Baum der Welt. Sein Gewicht wird auf knapp 2000 Tonnen geschätzt. Damit ist er etwa 400 Milliarden Mal so schwer wie der Samen, aus dem er entstanden ist.



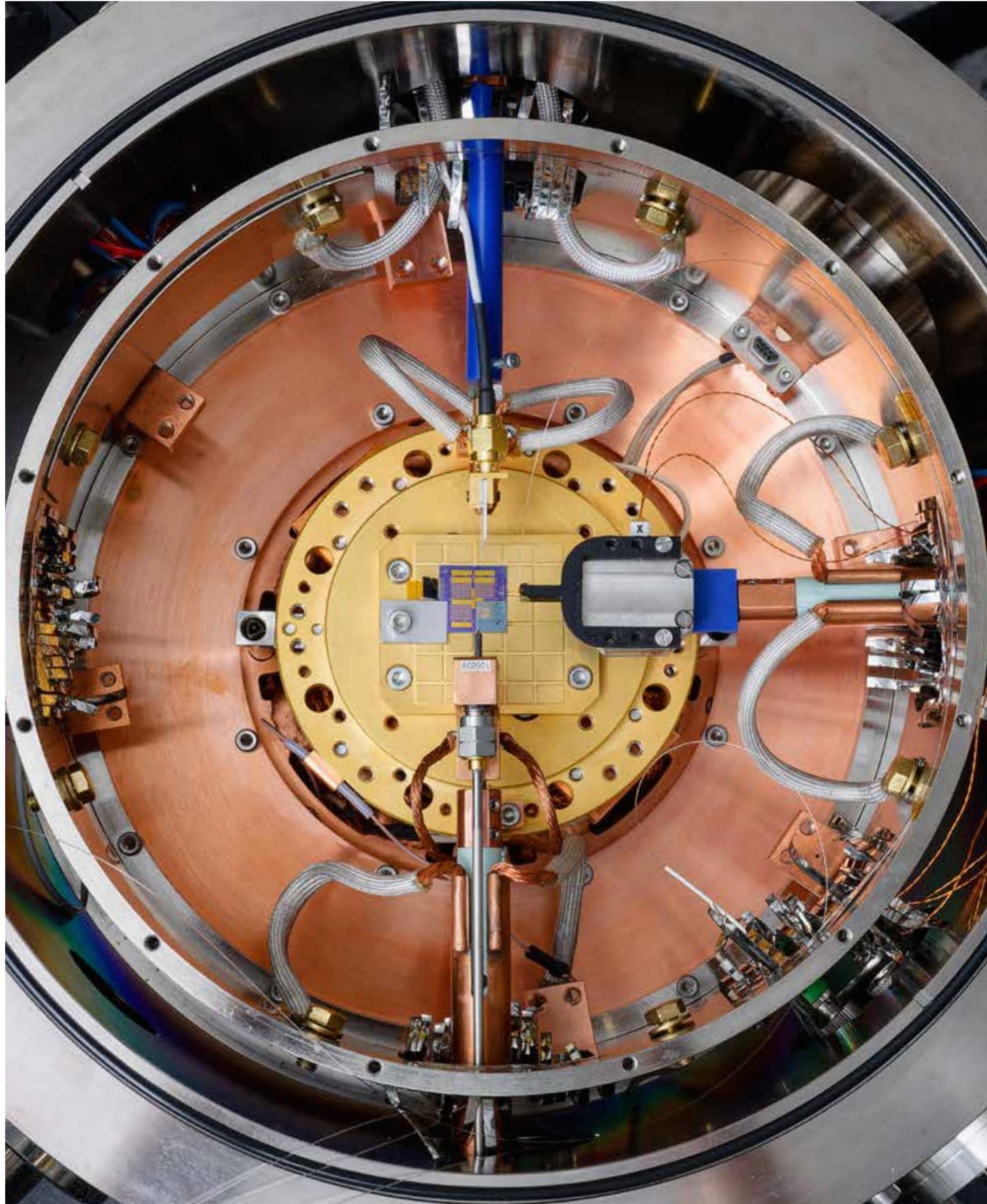
### Milliardenschwere Mikroorganismen

Der häufigste Organismus auf der Welt ist vermutlich *Pelagibacter ubique*, ein knapp 200 Nanometer grosses Bakterium, das massenhaft in den Ozeanen schwebt. Von diesen Winzlingen gibt es so viele, dass sie es zusammen auf eine Biomasse von geschätzt einer Milliarde Tonnen bringen – doppelt so viel wie die Menschheit.



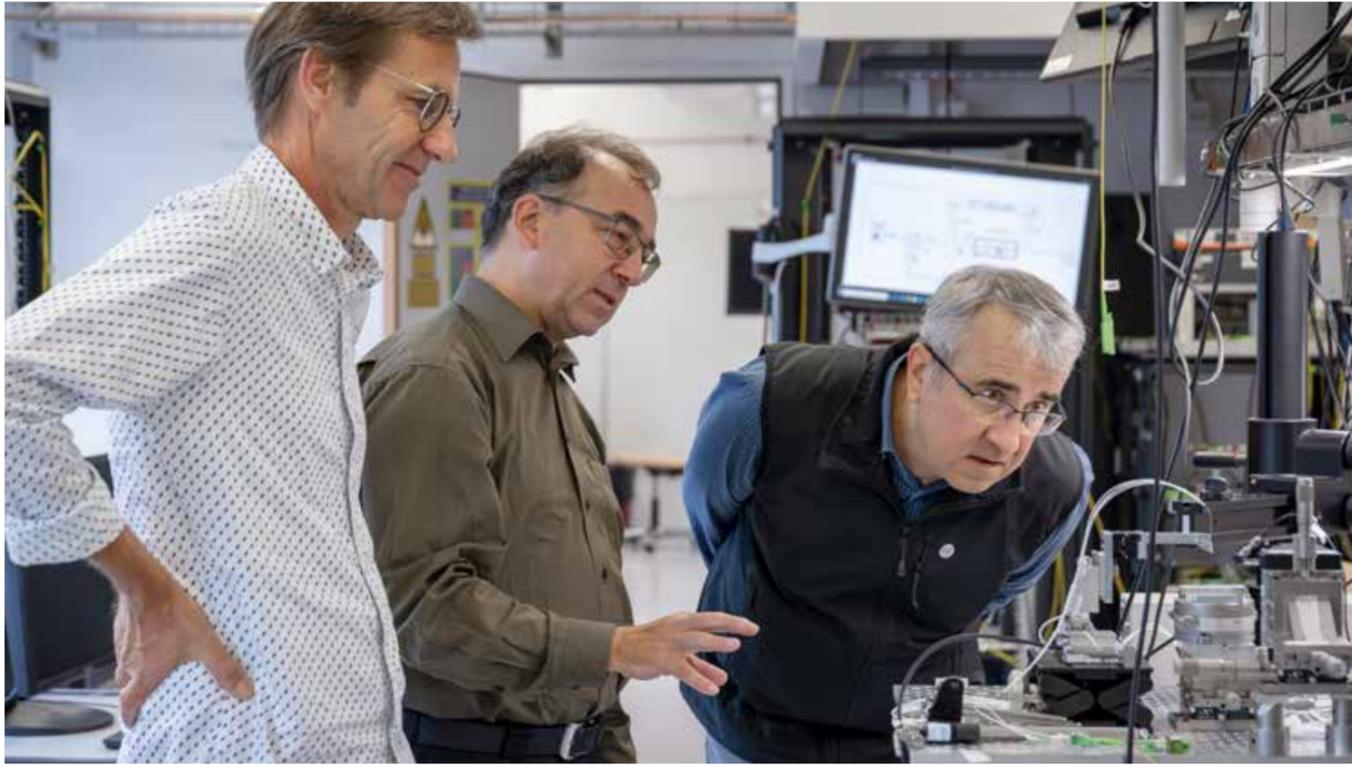
### Angstmachende Ameisen

Im Verbund können Ameisen Elefanten in die Flucht schlagen, die zwei Millionen Mal schwerer sind als sie selber. Der Trick: Sie beißen gezielt in den Rüssel, der besonders empfindlich ist. Auch vor Bienenstichen in den Rüssel fürchten sich Elefanten – sie nehmen Reissaus, wenn sie nur schon das Summen eines Bienen Schwarms hören.



# «Das Potenzial ist enorm»

Elektronische Geräte haben in den letzten Jahrzehnten eine enorme Entwicklung durchgemacht. Doch nun stehen die Forscher an der Schwelle zu fundamental neuen Rechentechniken, sind sich Jürg Leuthold vom WSS-Projekt Einzelatomschalter und Roman Fasel und Oliver Gröning vom WSS-Projekt CarboQuant einig. Ein Gespräch über winzige Bauteile, grosse Herausforderungen und teure Mikroskope.



Roman Fasel, Jürg Leuthold und Oliver Gröning (von links) besichtigen ein Experiment in Jürg Leutholds Zentrum für Einzelatom-Elektronik und -Photonik an der ETH Zürich.

*Herr Leuthold, Herr Fasel und Herr Gröning, Sie alle arbeiten daran, elektronische Bauteile noch kleiner und leistungsfähiger zu machen. Was werden Smartphones, Laptops und PCs in 20 oder 30 Jahren können?*

Jürg Leuthold: Wir stehen vor einer Revolution. Die Halbleiter-Technologie in den heutigen Laptops, die CMOS-Technologie, begann mit den ersten Transistoren vor ungefähr 70 Jahren. Nun aber arbeiten wir an ganz neuen Ansätzen. Noch weiss niemand, welcher Ansatz sich durchsetzen wird oder wie die neue Technologie genau aussehen wird. Was wir aber sicher wissen: Es geht besser!

*Herr Gröning, Herr Fasel, sehen Sie das auch so?*

Oliver Gröning: Was Jürg Leuthold sagt, ist richtig. Die CMOS-Technologie lebt davon, dass man immer alles kleiner und kompakter macht. Zum Teil mit neuen Technologien, aber das Funktionsschema hat sich nie wirklich geändert. Nun aber arbeiten

wir an neuen Funktionen, an neuen Arten, wie Signale in elektronischen Bauteilen erzeugt werden, wie diese also schlussendlich rechnen.

Roman Fasel: Um konkreter auf Ihre Frage zu antworten: Gerade weil wir an der Schwelle stehen zu einer grundsätzlich neu funktionierenden Rechentechnik, bin ich nicht überzeugt, dass unsere Laptops und Smartphones in 20 oder 30 Jahren Grössenordnungen schneller sein werden. Eine neue Technologie muss punkto Miniaturisierung und Leistungsfähigkeit zuerst wieder dorthin kommen, wo CMOS heute ist. Das wird dauern. Aber die neue Technik wird sehr viel energieeffizienter sein.

*Wie sehen die neuen Ansätze aus?*

Leuthold: Manche arbeiten an Quantencomputing; manche an zweidimensionalen, neuen Materialien; manche – und das ist der Schwerpunkt meiner Forschungsgruppe – an sogenannten memristiven neuromorphen Systemen. Die Idee dabei ist es, natürliche

Nervennetze nachzuahmen. Bis anhin haben wir in der Elektronik salopp gesagt Elektronen herumgeschoben. Im Gehirn aber werden Ionen herumgeschoben, also elektrisch geladene Atome oder Moleküle. Das ist die Grundidee unseres Einzelatomschalter-Projekts: Eigentlich genügt ein Atom, um einen Schaltzustand komplett zu ändern.

*Wie schaffen Sie das?*

Leuthold: Wenn ich zwei Metalle habe, bringe ich sie so nahe zueinander, dass nur ein Atom dazwischen platziert werden kann. Schaffe ich es, das leitend zu machen, überwinde ich beim An- und Ausschalten eines Schalters fünf, sechs Grössenordnungen an elektrischem Widerstand. Ich muss nur ein Atom verschieben und habe einen An/Aus-Schalter. Das ist das Prinzip des Gehirns.

*Bei Ihrem Ansatz im Projekt CarboQuant, Herr Fasel und Herr Gröning, geht es um Quanteneffekte. Wie funktioniert das?*

Gröning: Wir versuchen, molekulare Strukturen zu schaffen, bei denen wir Quanteneffekte ausnutzen können, um neue optische, elektronische oder magnetische Funktionen zu implementieren. Es geht, wie Jürg Leuthold antönte, um nichtlineare Prozesse. Ein elektrischer Widerstand ist etwas Lineares: Verdoppelt man die Spannung, hat man doppelt so viel Strom. Das möchten wir aber nicht. Beim atomaren Schalter möchte man mit winzigem Aufwand ein Atom verschieben, um einen sehr grossen Effekt zu erzielen – den Strom damit um sechs Grössenordnungen verändern, eins zu einer Million. Bei uns ist es ähnlich. Wir legen sehr genau elektronische Energieniveaus fest, durch welche Strom fließen kann. Wenn wir diese Niveaus einander angleichen, passiert – ohne dass wir Atome verschieben – etwas Ähnliches wie beim Atomschalter: Wir erzeugen durch eine kleine Spannungsänderung eine grosse Änderung des Stromflusses.

*Was für Effekte erforschen Sie noch?*

Gröning: Wir versuchen, mit einer einzelnen Elektronenladung, also einem Ladungsquantum, einen Transistor zu schalten. Wir können auch magnetische Momente nutzen. Statt mit einem Strom von 100 Millionen Elektronen ein Informationssignal zu erzeugen, drehen wir ein einziges magnetisches Moment um. Mit der Nutzung einzelner Quanten, beim magnetischen Moment dem Spin oder einem Lichtquant, dem Photon, spielt man auf einer ganz anderen Energieskala. Das geht an die Grenze dessen, was man physikalisch noch als Information bezeichnen kann. Wir designen Materialien mit solchen Eigenschaften – und wir arbeiten daran, diese Materialien in Bauteile einzusetzen.

*Derart winzige Strukturen zu bauen, ist eine Herausforderung.*

Gröning: Die Quanteneffekte, welche wir nutzen, manifestieren sich nun mal auf dieser atomaren oder molekularen Ebene. Wir hätten nichts dagegen, mit grösseren Objekten umzugehen. Unsere Materialien sind einen Nanometer gross; wären sie

zehn Nanometer, würde es uns das Leben einfacher machen.

*Herr Leuthold, Sie gehen in Ihrem Projekt ebenfalls an die Grenzen des grösstmöglichen Möglichen. Wie kommen Sie voran?*

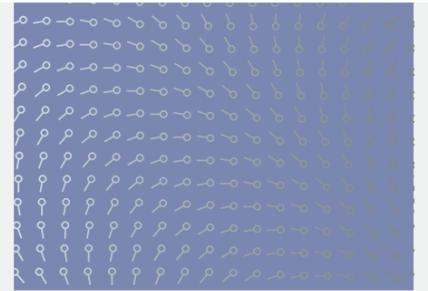
Leuthold: Wir werden immer besser. Wir haben es geschafft, was im Hirn passiert, auf die Halbleitertechnologie zu übertragen. Mittlerweile können wir mehrere Bauteile zusammennähmen und erste funktionale Blocks bauen: erste Schaltungen, die Funktionen nachahmen, die wir im Hirn sehen. Wir haben gar ein kleines Netzwerk gebaut, das auf unseren Schaltern beruht. Es ist noch klein. Aber wir sehen bereits, dass wir damit die herkömmlichen Technologien schlagen werden.

*Wie genau funktioniert es?*

Leuthold: Es ist ein Übertragungsnetzwerk. Mit einem Transmitter, der aus einem Laser und einem Modulator besteht, und einem Empfänger. Das gibt es milliardenfach, in jedem Datennetzwerk. Das erzeugte Signal ist verzerrt, wenn es ankommt. Die Aufgabe ist es, die Information lesbar zu machen. 50 Jahre Kommunikationstheorie sagen: Wir müssen einen Prozessor anhängen, mit verschiedenen möglichen Rechentechniken. Dieser benötigt für das Entzerren der Signale in unserem kleinen Netzwerk ungefähr 10'000 Rechenschritte. Nun vergleichen wir das mit einem von uns entwickelten neuronalen Netzwerk – und übertragen dieses auf ein optisches neuronales Netzwerk, das ganz ohne Rechenschritte auskommt. Das Letztere schlägt alle.

*Was bedeutet das?*

Leuthold: Wir benötigen in der neusten Entwicklung ungefähr zwei Grössenordnungen weniger Rechenleistung, um das Signal lesbar zu machen. Wobei ich eine Einschränkung machen muss: Das Resultat beruht auf Bauteilen, die wir tatsächlich realisiert und charakterisiert haben. Das Netzwerk haben wir aber basierend auf den Daten simuliert. In einem nächsten Schritt müssen wir das System optimieren und auf einen Chip bringen.



## Revolutionärer Einzelatomschalter

Von der Kaffeemaschine bis zum Grossrechner – Mikrochips sind in praktisch jedem technischen Gerät zu finden. Die Chips wurden in den letzten Jahren zwar kleiner und schneller, doch mittlerweile stösst die Miniaturisierung an ihre Grenzen und ihr hoher Energieverbrauch wird zum Problem. Forschende des Zentrums für Einzelatom-Elektronik und -Photonik an der ETH Zürich und am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) tüfteln deshalb an einem völlig neuartigen Mikrochip auf atomarer Basis.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
12 Mio. Schweizer Franken  
**Projektdauer** 2017–2025  
**Projektleitung** Prof. Dr. Jürg Leuthold,  
Direktor des Instituts für Elektromagnetische Felder, ETH Zürich

Aber die wichtige Nachricht ist: Das Potenzial ist enorm. Für mich ist klar: In den nächsten fünf bis zehn Jahren wird jedes elektronische Bauteil, das heute verbaut ist, ersetzt werden müssen. Denn es wird sich nicht rechtfertigen lassen, dass man damit 10'000 Mal mehr rechnen muss als mit der neuen Technologie.

**«Wir arbeiten mit derart kleinen Strukturen, dass wir die Technologie noch nicht so beherrschen, wie wir es möchten.»**

*Wird diese Technik so rasch einsatzbereit sein?*

Leuthold: Einige der Technologien werden weit schneller eingesetzt werden, als man denkt. Ich habe eine positive Zukunftssicht – ungeachtet

dessen, was in der Welt herumgeistert: Wir hören oft, mit neuronalen Netzwerken und maschinellem Lernen werde der Energieverbrauch aus dem Ruder laufen. Natürlich haben wir heute mehr Anwendungen und brauchen dadurch mehr Energie. Aber wenn ich allein unsere Resultate anschau, dann liegt ein Faktor 1000 an Energieeffizienz drin. Wenn wir es anpacken, ist die Zukunft nicht so trüb, wie manche sie sehen – im Gegenteil, da gibt es viel Hoffnung.

*Sehen die Leute wirklich trüb?*

Gröning: Es werden mehr digitale Dienstleistungen konsumiert, das benötigt erheblich mehr Energie. Aber die Entwicklungen – auch hinsichtlich neuronaler Netzwerke – haben enormes Potenzial. Ich habe nicht das Gefühl, dass man dieses Potenzial unterschätzt, vor allem auch weil man sich des Problems sehr bewusst ist.

Leuthold: Wenn wir über Energie im Allgemeinen sprechen, gibt es schon Schwarzmalerei. Wenn wir es richtig

machen, muss aber der Energieverbrauch nicht ansteigen.

Fasel: Es kommt vielleicht darauf an, wie man es anschaut. Momentan simulieren wir ja neuronale Netzwerke bloss mit dem Rechner. Nehmen wir an, in zehn Jahren kann ich von dir, Jürg, einen Chip mit einem atomaren Schalter kaufen, der tatsächlich selbst ein neuronales Netzwerk ist. Dann braucht es die ganze Rechenleistung für diese Simulation nicht mehr. Dort liegt energietechnisch wahnsinnig viel drin. Aber dort sind wir schon noch nicht. Das heisst: In der Zukunft werden wir das Energieproblem wohl nicht haben. Aber im Moment eben schon – erst kürzlich habe ich gelesen, dass eine Firma kleine Atomkraftwerke bauen will, um ihre Rechenzentren, die KI-Modelle trainieren, mit Energie zu versorgen.

Leuthold: Wahrscheinlich wird es sich ausgleichen. Es wird deutliche Hardware-Fortschritte geben, aber sie werden durch zusätzlichen Verbrauch wettgemacht.



Das Team des Projekts CarboQuant hat es laut Oliver Gröning geschafft, ganze Spin-Ketten herzustellen und kontrolliert ein- und auszuschalten.



Um den Energiehunger von Rechenzentren auszugleichen, braucht es laut Roman Fasel Forschung, die energieeffizientere Technologien entwickelt.

*Solche Rebound-Effekte sind menschlich.*

Fasel: Dafür machen wir auch Forschung! Deshalb braucht es die energieeffiziente Technologie. Und die ist noch nicht marktreif.

*Ihr CarboQuant-Projekt, Herr Fasel und Herr Gröning, ist noch weiter weg von der Marktreife als der Atomschalter und die neuronalen Netzwerke. Welche Fortschritte erzielen Sie?*

Gröning: Wir schaffen es inzwischen, so genannte Spin-Ketten zu designen und herzustellen – und die magnetischen Momente, die Spins, kontrolliert ein- und auszuschalten. Das ist ein enormer Fortschritt. Wir stellen beispielsweise eine Kette her mit vier Spins und schalten alle vier ein. Dann schalten wir einen Spin aus und prüfen, wie das System reagiert.

Fasel: Quantenphysiker arbeiten mit verschiedenen eindimensionalen Spin-Modellen. Jedes hat etwas andere Eigenschaften. Wir haben es geschafft, in den letzten zwei Jahren

die drei fundamentalsten Modelle mit Kohlenstoffatomen zu realisieren und detailliert zu charakterisieren. Inzwischen mit bis zu 50 Spins. Das ist derart komplex, dass man es klassisch nicht mehr rechnen kann. Und das ist nur der Anfang.

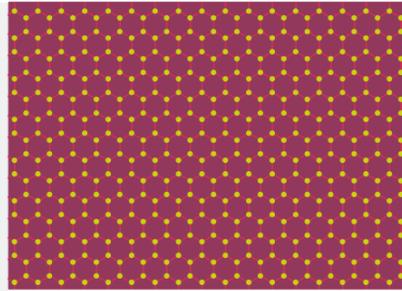
**«Es geht um einzelne Atome – und wenn in einem Trio einer daneben singt, hört man es sehr gut.»**

Gröning: Man kann sich diese Modelle wie Gleichungen vorstellen. Normalerweise suchte man Materialien, die diese Gleichungen zufälligerweise von Natur aus abbilden. Wir aber schauen uns die Gleichung, ihre Elemente und die Verknüpfungen der Spins an. Dann designen wir am Reißbrett eine Struktur mit genau diesen

Verknüpfungen. Wir stellen sie her und überprüfen mit Messungen, ob die theoretische Voraussage korrekt ist. Mein Traum ist es, mit solchen Quantensimulationen von einer linearen Kette in ein zweidimensionales Netzwerk überzugehen. Mit verschiedenen Ebenen, die verknüpft sind. Das wäre ein Superschnitt.

*Wie untersuchen Sie die magnetischen Momente?*

Gröning: Mit Rastertunnelmikroskopen. Allerdings sind unsere Möglichkeiten mit den bestehenden Instrumenten sehr limitiert. Deshalb bauen wir ein neues Labor auf, in dem wir Quantenmagnetismus noch detaillierter untersuchen und weiterentwickeln können. Wir sind daran, zwei neue Rastertunnelmikroskope in Betrieb zu nehmen, die mit Radio-Frequenz und einem starken Magnetfeld arbeiten. So können wir künftig magnetische Eigenschaften in Zeitauflösung auf atomarer Skala analysieren und messen.



## CarboQuant

Das CarboQuant-Projektteam an der Empa, dem eidgenössischen Forschungsinstitut für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung in Dübendorf, Schweiz, will kleinste quantenelektronische Bauteile entwickeln, die idealerweise bei Raumtemperatur funktionieren und so im Alltag Verwendung finden können.

### Mittel der Werner Siemens-Stiftung

15 Mio. Schweizer Franken

Projektdauer 2022–2032

Projektleitung Prof. Dr. Roman Fasel, Leiter des nanotech@surfaces Laboratory, Empa, Dübendorf  
Dr. Oliver Gröning, Co-Projektleiter CarboQuant und stv. Leiter des nanotech@surfaces Laboratory, Empa, Dübendorf

Fasel: Für diese Instrumente brauchte es komplett neue Labors. Das war ein enormer Aufwand. Ressourcenmässig ist es wohl im Moment die grösste Entwicklung, die wir vorantreiben.

*Wurden die Mikroskope nach Ihren Anforderungen massgeschneidert gebaut?*

Gröning: Ja. Solch komplexe und teure Anlagen kann man nicht im Katalog bestellen. Das Kernsystem existiert. Aber für die spezifischen Bedürfnisse muss man es anpassen. Zum Beispiel müssen wir unsere Material-Synthesen im Vakuum machen können. Vom Entwurf bis zur Lieferung dauerte es für jedes der Mikroskope mehr als zwei Jahre.

Fasel: Und der springende Punkt ist: Man braucht Leute, die ein solches Labor betreiben können. Davon gibt es nicht viele – weltweit hat vielleicht eine Handvoll Forschungsgruppen Erfahrung damit. Wir haben das Glück, mit Yujeong Bae aus Südkorea eine Top-Forscherin dafür gefunden zu haben.

*Was braucht es noch, damit solche Quanteneffekte dereinst anwendbar werden?*

Gröning: Wir müssen unsere Elemente auf einen Chip bringen und dort mit Kontakten verbinden. Bei diesem Transfer stossen wir auf einen Unsicherheitsfaktor. Wir wissen nicht, wo genau unsere Spin-Ketten zu liegen kommen. Deshalb können wir auch nicht sagen, ob eine bestimmte Eigenschaft von unserem System, vom Kontakt oder vom Bauteil herrührt. Daran müssen wir arbeiten.

Fasel: Wir arbeiten an einer Materialplattform, die hoffentlich irgendwann in der Zukunft für Quantenanwendungen nutzbar wird. Dazu braucht es noch viel: Man muss das Material integrieren, verknüpfen und adressieren können. Obendrauf kommen die ganzen hierarchischen Systeme. So gross das WSS-Projekt ist – und so gross unsere Aktivitäten: Man muss das in Relationen setzen.

*Da sind Sie schon weiter, Herr Leuthold.*

Leuthold: Wir haben funktionierende einzelne Bauteile. Nun geht es darum,

sie zusammenzuführen. Aber wir arbeiten mit derart kleinen Strukturen, dass wir die Technologie noch nicht so beherrschen, wie wir es möchten. Mit der herkömmlichen Elektronenstrahl-Lithographie lassen sich Strukturen bis ungefähr 10 Nanometer herstellen. Neu versuchen wir, mit Rasterkraft-Lithographie die Präzision zu erhöhen. Unsere Herausforderung ist es, einzelne Atome genau zu platzieren.

*Ein ähnliches Problem wie bei der Platzierung von Spin-Ketten.*

Gröning: Genau. Das ist ein fundamentales Problem unserer Arbeit. Wir kommen mit der Miniaturisierung an die atomare Grenze. In einem fünf bis zehn Nanometer langen Siliziumhalbleiter stecken einige Zehntausend Atome. Bei unseren beiden Projekten geht es um einzelne Atome. Es ist wie bei einem Chor: Wenn von 10'000 Sängern zwei den Ton nicht treffen, kann man damit leben. Aber wenn in einem Trio einer danebensingt, hört man es sehr gut.

*Können Ihre beiden Gruppen voneinander lernen?*

Leuthold: Wir profitieren voneinander. Ich habe Mitarbeitende, die an der Empa arbeiten, weil es dort andere Geräte gibt. Und unsere Ansätze ergänzen sich. Wie gesagt: Wir wissen nicht, welche Technik das Rennen macht. Vielleicht wird es alle brauchen: plasmonische Teilchen, Memristoren, Quanten-Bauteile. Der Computer der Zukunft nimmt das Beste aus jedem Bereich.

Gröning: Die Überschneidungen sind konkret. Professor Mathieu Luisier, der im Atomschalter-Projekt mitforscht, ist eine Koryphäe für die theoretische Berechnung des Elektronenstroms in so kleinen Systemen. Das ist auch für uns wichtig, wir arbeiten ebenfalls mit ihm zusammen. Unsere Projekte sind viel näher verwandt, als man es denken könnte.

*Ist es ein Vorteil, örtlich nahe zusammen zu sein?*

Fasel: Wir benützen zum Teil auch die gleiche Infrastruktur. Jürg Leuthold braucht einen Reinraum,



Jürg Leuthold ist überzeugt: Mit neuen Technologien können elektronische Bauteile 1000 Mal energieeffizienter werden als heutige.

wir brauchen einen Reinraum. Die Geräte, um Materialien zu strukturieren oder zu ätzen, hat nicht jeder bei sich im Labor. Darum ist Zürich ein guter Ort.

Leuthold: Meine Vision ist es, auf dem Areal des Flugplatzes Dübendorf einen neuen Reinraum für die Elektronik und die Nanotechnologie zu schaffen. Wir benötigen immer teurere Maschinen, weil wir in den atomaren Bereich vorstossen. Wenn wir das gemeinsam machen, ETH und Uni Zürich, PSI, Empa und Firmen, wird das ein Powerhouse im Raum Zürich.

*Wenn es gelingt, die Elektronik um Grössenordnungen zu verkleinern und effizienter zu machen: Lässt sich abschätzen, was für neue Anwendungen das ermöglicht?*

Gröning: Es ist schwierig abzuschätzen, welche neuen Bedürfnisse entstehen. Aber mit disruptiven Konzepten wie Quantencomputern liessen sich biologische, komplexe Systeme rechnen. Man könnte Quantenchemie

betreiben oder hochvernetzte Klimasimulationen durchführen.

Leuthold: Ich sehe bereits an kleineren Beispielen, was man bewegen kann: Sleepiz, ein Startup aus unserem Institut, hat ein Gerät entwickelt, das mit elektromagnetischen Wellen den Körper im Schlaf beobachtet – wie sich der Brustkorb bewegt und wie das Herz schlägt. Dadurch ist es in der Lage, zwei Wochen im Voraus vor einem Herzinfarkt zu warnen. Es entstand aus der Erforschung optischer Kommunikationssysteme.

*Das sind Dinge, an die man nicht denken würde.*

Leuthold: In der Tat – und dazu benötigt man keine Superriesencomputer. Unsere Entwicklungen sind einfach, aber letztlich doch spektakulär.

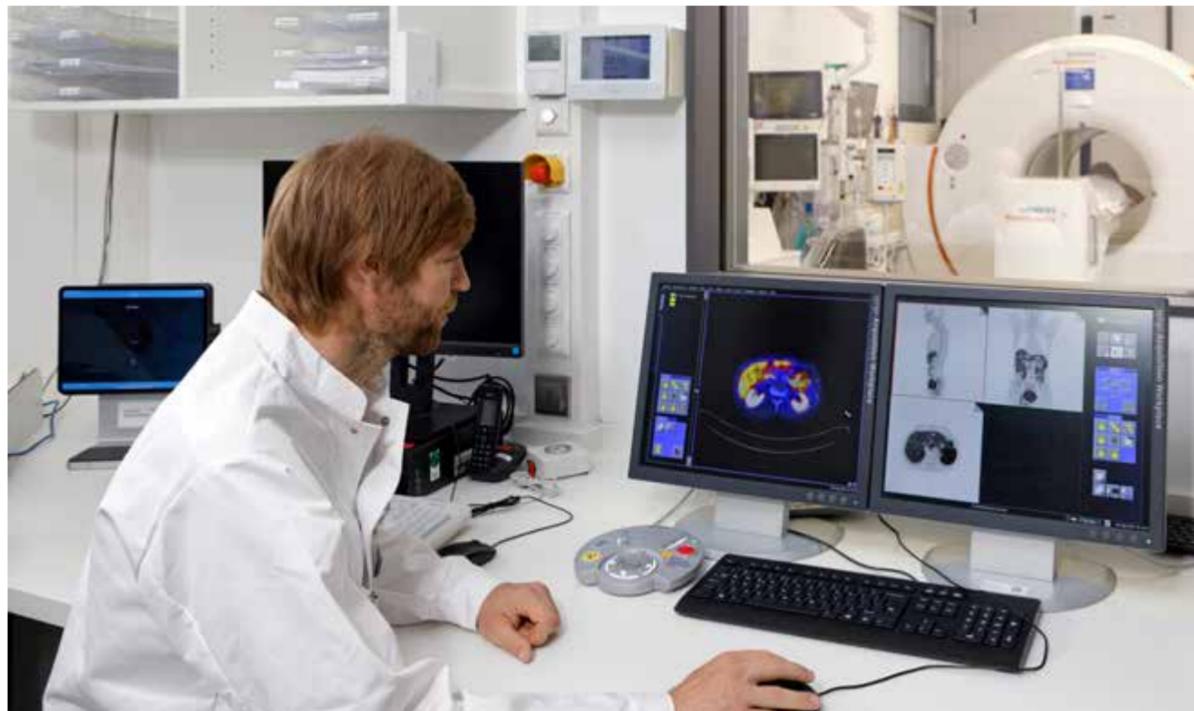
Gröning: Das ist ein sehr guter Punkt. Neue Technologien wirken zuweilen versteckt. Wir konsumieren sie, ohne es zu merken. Ich pendle im InterCity-Neigezug von Solothurn nach Zürich, täglich mit 2000 ande-

ren Leuten. Davon schauen vielleicht 500 einen Film, in Echtzeit auf dem eigenen Smartphone. Manchmal muss man sich vor Augen führen, was technisch in den letzten zehn Jahren gegangen ist, damit heute solche Datenübertragungen möglich sind.

# Ein neues Bild des Körpers



Bildgebende Verfahren werden in nahezu allen medizinischen Fachbereichen eingesetzt. Und sie werden wichtiger: Die Forschung ermöglicht immer neue Einblicke in die winzigsten Körperstrukturen, wie ein Besuch am Werner Siemens Imaging Center in Tübingen zeigt.



Zur Auswertung der enormen Datenmengen aus dem Ganzkörper-Scanner sind besonders leistungsfähige Rechner nötig.

Eine passendere Adresse für das Werner Siemens Imaging Center (WSIC) in Tübingen hätte man sich nicht ausdenken können: Das Institut befindet sich am Röntgenweg, den die Stadt im Jahr 1956 nach dem Entdecker der Röntgenstrahlen benannte. Mit seiner 1895 gemachten Entdeckung gilt Wilhelm Conrad Röntgen als Vorreiter der modernen medizinischen Bildgebung. Dank ihm konnten Ärztinnen und Ärzte erstmals in den Körper hineinschauen, ohne ihn aufschneiden zu müssen.

Inzwischen gibt es diverse andere Techniken, die das ermöglichen. Am WSIC, dessen Gebäude am Röntgenweg im Jahr 2014 eröffnet wurden, erforschen unter der Leitung von Professor Bernd Pichler 15 Forschungsgruppen mit insgesamt ungefähr 140 Mitarbeitenden viele dieser modernen bildgebenden Methoden – und entwickeln sie weiter. «Möglich wurde dies nur dank der jahrelangen Förderung der Werner Siemens-Stiftung», sagt Bernd Pichler, «ohne sie wäre das hier ein kleines Labor mit fünf Leuten geblieben.»

Denn die Unterstützung, welche die WSS kürzlich um eine neue 10-Jahres-Förderperiode erneuert hat, ist nötig, damit das WSIC hochkarätige Forschung betreiben kann. Und nur wer Top-Forschung macht, hat Chancen auf zusätzliche Forschungsgelder – und somit zu wachsen. Die Gruppe hat in den vergangenen 20 Jahren insgesamt mehr als 100 Millionen Euro Fördergelder eingeworben.

Diesbezüglich ist 2025 ein wichtiges Jahr für das WSIC: Es steht der Erneuerungsantrag für den Exzellenz-Cluster iFIT der Deutschen Forschungsgemeinschaft an, an dem das WSIC federführend beteiligt ist. iFIT steht für «Image-Guided and Functionally Instructed Tumor Therapies». Pichler hofft auf einen neuerlichen Förderumfang von ungefähr 80 Millionen Euro für sieben Jahre. «Es ist der einzige Exzellenz-Cluster im Bereich Onkologie in ganz Deutschland», sagt Pichler. «Für uns ist iFIT vor allem auch strategisch enorm wichtig.»

#### «Schlafende» Tumorzellen

Die Onkologie ist einer der Schwerpunkte am WSIC. Tumore lassen sich mit modernen bildgebenden Methoden auf verschiedene Weise sichtbar machen. Ein wichtiges Feld, das Bernd Pichler und sein Team in den letzten Jahrzehnten maßgeblich geprägt haben, ist die Herstellung von sogenannten Tracern, sehr schwach radioaktiv markierte Substanzen.

Sie werden in den Körper eingebracht und nehmen zum Beispiel an Stoffwechselprozessen teil oder binden an Strukturen auf der Zelloberfläche. Für den Körper sind sie bis auf sehr geringe Dosen radioaktiver Strahlung ungefährlich, aber dank der Markierung lassen sie sich mit nuklearmedizinischen Verfahren – etwa durch sogenannte Positronenemissionstomografen (PET) – nachweisen.

Auf diese Weise können Forschende Gewebe-Erscheinungsbilder, Stoffwechselforgänge in Organen oder gewisse Zellstadien unterscheiden. Manche Tumorzellen etwa befinden sich in einem sogenannten seneszenten Zustand. Sie haben aufgehört, sich zu teilen, leben aber weiter – und können aus diesem «Schlaf» heraus das Wachstum anderer Tumorzellen ankurbeln. Es habe sich sogar gezeigt, dass Krebstherapien bei soliden Tumoren eine solche Seneszenz auslösten, erzählt Pichler. «Das ist ein zweischneidiges Schwert: Einerseits vermehren sich diese Zellen nicht mehr, andererseits lösen sie bei nicht-seneszenten Zellen ein noch stärkeres Tumorstadium aus. Deshalb ist es wichtig, solche Zellen aufzuspüren und im richtigen Moment mit Medikamenten zu zerstören.»

Bernd Pichler und sein Team haben vielversprechende Tracer zum Nachweis von seneszenten Tumorzellen entwickelt. Eine klinische Phase-1-Studie ist bereits abgeschlossen, der dabei getestete Tracer hat sich als sicher in Patientinnen und Patienten erwiesen. Nun läuft eine Phase-2-Studie. «Und es sieht gut aus», erzählt Pichler. Eine entsprechende Studie ist bei einem hochrangigen wissenschaftlichen Journal eingereicht. Zudem, sagt der Leiter des WSIC, habe sein Team inzwischen bereits Seneszenz-Tracer entwickelt, die drei bis fünf Mal genauer seien als der momentan getestete Tracer.

An der Entwicklung von PET-Tracern arbeitet auch Anna Junker, die neueste Professorin und Gruppenleiterin am WSIC. Sie hat Anfang 2024 eine Professur für Radiochemie und Entwicklung von bildgebenden Sonden an der Universität Tübingen übernommen. Institutsleiter Bernd Pichler ist glücklich über ihre Ernennung. «Sie bringt sehr spannende neue Ansätze, neue Themen und neue Inputs in unser Team», sagt er.

#### Chemie und Pharmazie

Anna Junker verbindet nämlich Kenntnisse und Erfahrungen aus zwei Kernbereichen der Tracer-gestützten medizinischen Bildgebung: Chemie und Pharmazie. Das Pingpong zwischen diesen beiden Fächern begann bei ihr bereits mit der Studienwahl. Sie studierte in Münster Pharmazie – aber erst im zweiten Anlauf, wie sie erzählt. Aufgrund eines Missverständnisses beim Antrag für die Studienplatzvergabe bekam sie einen Pharmazie-Studienplatz in Halle zugeteilt. «Dorthin wollte ich aber nicht», sagt sie. Kurzerhand schrieb sie sich in Münster für Chemie ein, wo es noch freie Studienplätze gab.

Ihre Absicht war es, nach dem ersten Semester ins Pharmazie-Studium in Münster zu wechseln – was sie auch tat. «Allerdings gefiel mir die Chemie derart gut, dass mir der Wechsel schwerfiel», sagt sie. Bereut hat sie den Schritt zur Arzneykunde trotzdem nie – zumal sich



Neu am WSIC: Anna Junker hat eine Professur für Radiochemie und Entwicklung von bildgebenden Sonden übernommen.



Neue Ideen, neue Projekte: WSIC-Leiter Bernd Pichler (links) im Gespräch mit Mitarbeitern.

im dritten Semester ein neuerlicher Seitenwechsel anbahnte. Sie erinnere sich noch gut, erzählt Anna Junker. «Ich sass in einer Chemievorlesung bei Professor Bernhard Wunsch und war begeistert. Ich sagte zu meiner Sitznachbarin: Das, was er macht, will ich auch tun.»

Bernhard Wunsch entwickelt sogenannte Liganden, chemische Verbindungen, welche Rezeptoren in Zellmembranen aktivieren oder blockieren können. Anna Junker promovierte bei ihm – mit einem Abstecher nach Japan – und entwickelte erste radiofluorierte Tracer-Moleküle. «Als mein erster PET-Tracer in einer Maus getestet wurde, war das ein Aha-Moment», sagt sie. «Erstmals sah ich eines meiner Moleküle in einem lebenden Organismus.»

Sie merkte, dass ihr die organische Chemie sehr gut gefiel – aber medizinisch-pharmazeutische Anwendungen ihr noch mehr zusagten. Bis sie ihr genaues Feld fand, dauerte es allerdings noch einmal einige Jährchen: Sie war zuerst Postdoc in der Gruppe von Professorin Christa Müller an der Universität Bonn, was eine enge Zusammenarbeit mit einer Pharmafirma beinhaltete. Danach ging sie mit einem Forschungsstipendium für ein Jahr an die National Institutes of Health (NIH) nach Bethesda in den USA zu Professor Kenneth Jacobson, einem der Vorreiter der Erforschung sogenannter Adenosin-Rezeptoren, die bei einer Vielzahl von Erkrankungen eine Rolle spielen. «Das war nicht Imaging, sondern medizinische Chemie», erzählt Junker.

Die nächste Station war wieder Münster, wo sie mit einem Postdoc-Förderprogramm die Möglichkeit bekam, eigenständig an Rezeptoren zu arbeiten, die bei Prostatakrebs eine Rolle spielen. Gleichzeitig bewarb sie sich erfolgreich für eine Förderung über das Emmy-Noether-Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Sie erhielt für eine Förderperiode von sechs Jahren 1,3 Millionen Euro. «Das war entscheidend», sagt Anna Junker. «Ich konnte meine eigene Forschungsgruppe aufbauen – und zum ersten Mal etwas durchatmen und längerfristige Forschungsfragen angehen.»

#### Vielversprechende Entdeckung

Das hat sie mit Erfolg getan, wie die Berufung zur Professorin in Tübingen zeigt. Ein eindrückliches Beispiel ist Junkers bisher vielversprechendste Entdeckung: ein PET-Tracer für ein Enzym namens CD73, den sie in Münster entwickelte und für den die Universität Tübingen inzwischen das Patent übernommen hat. CD73 wandelt vom Adenosintriphosphat (ATP) stammendes Adenosinmonophosphat (AMP) in Adenosin um. ATP ist der universelle Energieträger in Zellen, und damit eines der wichtigsten Moleküle überhaupt in lebenden Organismen.

«Doch ATP kann auch in den ausserzellulären Raum gelangen und ist dort ein Signalmolekül, welches das Immunsystem auf eine Gefahr oder eine Entzündung hinweist», erklärt Anna Junker. Adenosin ist genau das Ge-

genteil: Das Vorkommen dieses Moleküls bedeutet dem Körper: keine Gefahr, es müssen keine Immunzellen aktiviert werden! Extrazellulär wird ATP sehr schnell zu AMP abgebaut und durch CD73 zu Adenosin umgewandelt. Das nützen viele Krebszellen: «Alle soliden Tumore produzieren CD73 verstärkt», sagt Anna Junker. «Das führt dazu, dass sie sich richtiggehend in eine Adenosin-Wolke hüllen, die das Immunsystem des Körpers fernhält.»

Ihre Idee ist es, mit einem radioaktiv markierten CD73-Liganden die Abwehrstrategien von Krebszellen sichtbar zu machen – oder gar zu bekämpfen, wenn der Ligand den Umbau von AMP in Adenosin hemmt. Den ersten Punkt haben die Forschenden für Pankreas- und Brustkrebs bereits nachgewiesen. «Mit dem von uns entwickelten Tracer stellen wir diese Tumore im Tiermodell viel genauer dar als mit dem bisherigen Goldstandard», erzählt Junker.

Bis die Entwicklung ihren Weg in Patientinnen und Patienten findet, wird es noch ein Weilchen dauern. Doch Anna Junker ist optimistisch: «Die Infrastruktur hier in Tübingen ist hervorragend für die Translation vom Labor zur Patientenversorgung – es gibt nur wenige Standorte in Deutschland, die diesbezüglich derart gut aufgestellt sind.»

Tatsächlich: Ein kleiner Rundgang durch die Räumlichkeiten und Labore des WSIC lässt erahnen, welch breit gefächerte, hochkarätige und interdisziplinäre

Forschung hier betrieben wird: Da gibt es Chemie- und Mikrobiologie-Labore. Es gibt Analytikgeräte für Reaktionskontrollen. Es gibt Labore, in denen die Tracer entstehen.

Die hochwertigsten und empfindlichsten Geräte befinden sich hinter verschlossenen Türen: teure, grosse Mikroskope und natürlich die PET-Scanner in den Imaging-Laboren. In ihnen wird untersucht, wie die Tracer sich in Geweben oder Versuchstieren verhalten. In diesen Räumen müssen selbst winzigste Verunreinigungen vermieden werden – es darf sie nur betreten, wer sich entsprechenden Reinigungsprozeduren unterzogen hat.

#### Datenmengen als Herausforderung

Eine wichtige Funktion kommt einem unscheinbaren Kämmchen zu, das mit einigen besonders leistungsfähigen Computerstationen bestückt ist. Hier werden Experimente ausgewertet. Denn eines haben die bildgebenden Methoden gemein: Sie liefern enorme Datenmengen. Um ihrer Herr zu werden, braucht es spezielle Software, Speicherkarten und grosse Rechner. «Die Datenmengen sind eine der grössten Herausforderungen», sagt Bernd Pichler. «Denn das grosse Thema der Zukunft ist, dass wir nicht mehr nur multimodal arbeiten, sondern immer mehr auch multiskalar.»

Das bedeutet: Es geht nicht mehr nur darum, verschiedene Techniken wie PET und MRT oder CT gemeinsam zu

## WSS-Wettbewerb für Doktorierende

Ein Forschungsprojekt eigenständig durchzuführen, ist anspruchsvoll. Um Doktorandinnen und Doktoranden früh an diese Aufgabe heranzuführen, organisierte das Werner Siemens Imaging Center (WSIC) mit der Unterstützung der Werner Siemens-Stiftung einen WSS-Förderwettbewerb für Promovierende. In der Klausurwoche des WSIC durften diese in kleinen Gruppen eigene Projektideen mitsamt Finanzierungsplan entwickeln und vorstellen.

Das Siegerteam – Daniel Bleher, Eden Laing und Laura Kübler – erhielt 50 000 Euro, um seine Idee weiterzuentwickeln. «Das ist toll, es gibt uns die Möglichkeit, einmal ein eigenes Projekt von Grund auf zu planen», freut sich Daniel Bleher.

Die Idee, mit der das Trio die Jury überzeugte, hat es in sich: Die jungen Forschenden wollen einen Tracer entwickeln, um Infektionen mit *Porphyromonas gingivalis* anzuzeigen. *P. gingivalis* gilt als Schlüsselbakterium für die Entstehung von Zahnfleischentzündungen und chronischer Parodontitis. «In Deutschland haben 30 bis 40 Prozent aller Menschen mindestens einmal in ihrem Leben eine solche Infektion», erzählt Bleher. Ihre Auswirkungen gehen weit über den Mundraum und die Zahngesundheit hinaus. *P. gingivalis* steht laut Studien in Zusammenhang mit chronischen Entzündungen im Körper, mit schlechteren Prognosen bei Krebs und mit neurologischen Erkrankungen.

«Unsere Gruppe ergänzt sich sehr gut», erzählt Bleher. Er selber ist Doktorand in der Gruppe von Professorin Kristina Herfert und arbeitet an der Entwicklung von Tracern, die Strukturen im Gehirn von Menschen mit Parkinson oder Parkinson-ähnlichen Krankheiten nachweisen. Eden Laing doktoriert in der Gruppe von Privatdozent Nicolas Bézière auf dem Gebiet der Infektionsbiologie. Und Laura Kübler, inzwischen Postdoktorandin

in der Gruppe von Professor André Martins, hat Erfahrung in der Tumorbildgebung.

Das gemeinsame Projekt läuft nebenher. «Es erfordert zusätzliche Arbeit von uns», sagt Daniel Bleher. «Aber wenn man solch eine Chance bekommt, leistet man das natürlich gern.» Dem Nachwuchsteam ist es bereits gelungen, einige Verbindungen zu synthetisieren, die sich für die radioaktive Markierung eignen könnten. «Und wir kultivieren die Entzündungsbakterien, was nicht ganz einfach ist, weil sie nur im sauerstofffreien Milieu wachsen.» Ziel ist es, radioaktiv markierte Verbindungen in den Bakterien und danach in krankem Gewebe zu testen. «Vielleicht», hofft Daniel Bleher, «entsteht daraus eine erste Publikation und die Möglichkeit, die Idee im Rahmen eines grösseren Projekts weiterzuentwickeln.»

Die Idee des Doktorandinnen- und Doktoranden-Projekts findet der junge Forscher einzigartig. Er selber habe noch nirgendwo von einem solchen Wettbewerb gehört und bei den Promovierenden sei er auf enormen Zuspruch gestossen, erzählt er. «Es wäre toll, wenn so etwas wieder einmal möglich wäre.»



Die Geräte in den Laboren am Werner Siemens Imaging Center sind hochempfindlich, selbst winzigste Verunreinigungen müssen vermieden werden.

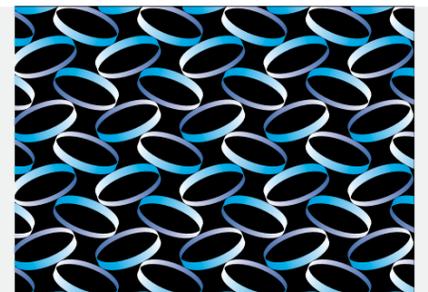
nutzen, sondern mikroskopische mit makroskopischen Untersuchungen zu verschmelzen. Also beispielsweise den ganzen Körper auf Tumor-Ableger zu scannen – mit einer hohen räumlichen Auflösung. Die dabei anfallenden Daten sind nicht nur enorm gross, sondern auch komplex und unterschiedlich in ihren Formaten.

Wichtiger werden laut Pichlers Einschätzung auch Untersuchungen und Diagnosen, die Verbindungen zwischen verschiedenen Körperorganen betreffen. «Bei immunologischen Therapien sehen wir immer wieder, dass sie nur für einen Teil der Patientinnen und Patienten wirken», sagt Pichler. «Indem wir wichtige Immunorgane wie Milz oder Knochenmark untersuchen, können wir mithelfen, solche Zusammenhänge aufzudecken.»

Daneben wird es auch in Zukunft spannende Weiterentwicklungen einzelner bildgebender Methoden geben. Ein Beispiel, an dem die Tübinger Forschenden aktuell arbeiten, sind sogenannte Nanobodies – PET-Tracer auf der Basis von Antikörperfragmenten. Sie sind derart klein, dass sie selbst in die kleinsten, feinsten Gefässe vordringen und dort für die Bildgebung benutzt werden können.

«Wir arbeiten, als eine von sehr wenigen Forschungsgruppen weltweit, seit etwa fünf Jahren mit solchen Nanobodies», erzählt Bernd Pichler. Mit Erfolg: Das WSIC hat kürzlich mit «immunAdvice» sein erstes Spin-off gegründet, das mit solchen Nanobody-Tracern Immunzellen im Körper darstellen und damit den Erfolg von Immuntherapien beurteilen will.

Das Beispiel zeigt zweierlei: Den Bildgebungs-Expertinnen und -Experten in Tübingen gehen die Ideen nicht aus. Und ihre Forschung ist stets darauf ausgerichtet, dass sie möglichst rasch den Patientinnen und Patienten zugutekommt.



## Werner Siemens Imaging Center

Das Werner Siemens Imaging Center in Tübingen spielt international in der ersten Liga der Forschung zu bildgebenden Verfahren. Sein Forschungsschwerpunkt «individuelle Tumorthérapien» ist Teil der deutschen «Exzellenzstrategie». Neue, kombinierte bildgebende Verfahren erlauben es, Gewebe und Moleküle genauer zu untersuchen. Und sie helfen herauszufinden, welche Therapie bei welchen Patientinnen und Patienten am besten wirken.

### Mittel der Werner Siemens-Stiftung

18,4 Mio. Euro (2024–2033)

15,6 Mio. Euro (2016–2023)

12,3 Mio. Euro (2007–2016)

Projektdauer 2007–2033

Projektleitung Prof. Dr. Bernd Pichler, Werner Siemens-Stiftungsprofessor und Direktor Werner Siemens Imaging Center, Universität Tübingen



Die Weltraumforschung entwickelt clevere Methoden und Instrumente, um die grössten Fragen der Menschheit zu beantworten. ETH-Zürich-Professor und Ex-NASA-Forschungschef Thomas Zurbuchen über ausserirdisches Leben, beinahe gescheiterte Missionen und die Kunst der Miniaturisierung.

*Thomas Zurbuchen, auf Ihrer Website steht der Titel «Aim high»: Setz dir hohe Ziele. Gibt es solch hohe Ziele, also eine Forschungsfrage, von deren Beantwortung Sie träumen?*

Mich hat mein ganzes Leben die Frage beschäftigt, ob es intelligentes Leben gibt ausserhalb der Erde. Es ist eine dieser ganz einfachen Fragen, die sich die Menschheit schon immer gestellt hat. Während meiner Forschungskarriere hat sich das Umfeld dieser Frage fundamental geändert.

*Inwiefern?*

Wir haben enorme Fortschritte gemacht. Als ich Astrophysik-Student war, gab es keine Beobachtungen von Planeten ausserhalb unseres Sonnensystems. In der Zwischenzeit haben wir über 7000 solche Exoplaneten entdeckt. Wir wissen, dass es pro Stern mindestens einen Planeten gibt und dass ungefähr 20 Prozent der Plane-

«Stiftungen können  
mehr Risiken eingehen»

ten Wasser enthalten können. Früher glaubten wir, dass komplexe Moleküle erst spät entstehen in der Entwicklung von Planeten. Heute wissen wir, dass die primitivsten Bausteine des Sonnensystems bereits komplexe Moleküle wie Aminosäuren enthalten, also Bausteine von Proteinen, die zum Leben führen. Und so weiter.

*Wie geht man vor, um ausserirdisches Leben zu finden?*

Die Drake-Gleichung des US-Forschers Frank Drake beschreibt, was es alles braucht, damit intelligentes Leben möglich ist. Die ersten drei Teile der Gleichung haben wir beantwortet, ich habe eben darüber gesprochen. Wie viele Planeten gibt es? Wie viele dieser Planeten können Wasser und komplizierte Moleküle enthalten? Noch nicht beantwortet haben wir die nächste Frage: Auf wie vielen Planeten mit einer physikalisch-chemischen Welt wird Biologie entstehen? Später kommt die Frage nach der Intelligenz: Können wir Signale von intelligenten Zivilisationen finden?

*Wie misst man Moleküle oder Signale von Welten, die unvorstellbar weit weg von uns sind?*

Das Universum besteht, egal wohin wir schauen, aus den gleichen Bestandteilen. Ein Ansatz ist es deshalb, nach Molekülen wie CO<sub>2</sub> oder Ozon zu suchen, die sich in unserer Atmosphäre nur anreichern konnten wegen des Lebens auf der Erde. Signale intelligenter Kommunikation wiederum kann man mit Teleskopen aufspüren. Man stellt sich die Frage: Wenn ich von einem Stern auf die Erde schaue, wie wüsste ich, dass es dort intelligente Leute gibt? Die Antwort ist: Ich sähe zum Beispiel Radar- oder Lichtsignale, die nicht natürlich entstehen. Genauso schauen wir auf andere Planeten.

*Man sucht nach dem, was man nicht erklären kann.*

Nach Dingen, die nicht natürlich erklärbar sind. Das ist eine unglaublich schwierige Beweisführung. Der andere Ansatz ist: Wenn Leben häufig ist, könnte es sein, dass es Leben gibt auf dem Mars. Dort gehen wir einfach hin und graben. Das ist eine ganz andere

Methode, und beide spielen eine Rolle bei der Suche nach Leben.

*Was ist Ihre Einschätzung: Gibt es Leben ausserhalb der Erde?*

Ich nehme es an, aber wir haben es noch nicht bewiesen. Es gibt noch ganz viele Unsicherheiten. Die meisten Forschenden nehmen an, dass es viele Zivilisationen gibt. Oft genannte Zahlen sind, dass in einer Galaxie wie unserer mit 400 Milliarden Sternen vielleicht 10'000 intelligente Zivilisationen existieren. Aber es kann auch sein, dass es nur eine gibt. Das würde bedeuten, dass intelligentes Leben viel kostbarer ist, als wir denken.

### «Jede NASA-Mission ist eigentlich etwas Unmögliches.»

*Auch wenn diese grosse Frage noch nicht beantwortet ist, haben Sie doch sehr hohe Ziele erreicht in Ihrer Karriere: Sie waren von 2016 bis 2022 Forschungsdirektor der Weltraumagentur NASA – wohl der wichtigste Job in der Weltraumforschung. Wie sind Sie zur Astrophysik und dann zur NASA gekommen?*

Ich interessierte mich schon als Kind dafür. Ich wuchs im Berner Oberland auf, an einem Ort, an dem es dunklen Himmel gab. Das hat mich geprägt. Dunkler Nachthimmel in den Bergen ist etwas ganz anderes als der Nachthimmel unter künstlichem Licht: Man sieht Milchstrassen, unsere Galaxie. Man sieht die Farben von Sternen und Planeten. Man sieht den Unterschied zwischen Sternen und Nebeln. Später ging ich an die Universität Bern, um Physik zu studieren – und schwenkte ein auf Astrophysik. Ich konnte mit-helfen in einem Satellitenprojekt und habe einen Teil eines Satelliten gebaut.

*Der dann auch Teil einer NASA-Mission wurde.*

Ja. Ich habe für das Instrument nicht nur die Analysen gemacht, sondern es auch selbst gebaut. Ein wirklich guter Techniker in Bern half mir. Er hat

mich ausgebildet und sichergestellt, dass ich es richtig mache. Das Instrument war sogar noch im Inventar der Missionen, für die ich zuständig war, als ich zur NASA kam.

*Nach dem Studium gingen Sie in die USA, wurden Professor in Michigan – wie kamen Sie von dort zum Chefposten bei der NASA?*

Ich wurde in den USA für zwei Dinge bekannt. Erstens, weil die Satelliten-Experimente, die ich dort machte, erfolgreich waren. Zweitens, weil ich Innovationssysteme baute. Ich initiierte an der Universität Michigan eines der wichtigsten Startup-Systeme der USA. Eines Tages riefen mich mehrere Leute aus der NASA-Führung an. Sie sagten, die Stelle als Forschungsdirektor werde frei, ich solle mir überlegen, eine Bewerbung zu schicken. Und das tat ich.

*Es war also eine Verbindung aus Forschungsexzellenz und unternehmerischem Denken, das die NASA überzeugte?*

Genau. Das zweite ist eben auch wichtig. Die Leute bei der NASA sagten: Wir brauchen jemanden, der beides versteht – und sie hatten das Gefühl, davon gebe es nicht allzu viele in der Wissenschaft.

*Sie haben bei der NASA 130 Missionen geleitet. Welche davon waren die spannendsten?*

Ich habe 37 Missionen neu in den Weltraum gebracht. Eine davon war das James-Webb-Weltraumteleskop, die teuerste und komplizierteste Mission, die es je gab. Bei ihr hatte ich unglaubliche Schwierigkeiten. Es war eine jener Missionen, die schwierig anfangen und mehrmals nahe am Tod waren. Beim dritten Mal konnte ich sie retten, andere hatten sie früher gerettet. Dann kam sie in den Weltraum. Inzwischen schreibt sie jede Woche Wissenschaftsgeschichte – ob es um Exoplaneten geht oder um neue Einsichten über Sterne oder Schwarze Löcher.

*Was waren die Schwierigkeiten bei dieser Mission?*

Jede NASA-Mission ist unglaublich schwierig, eigentlich etwas Unmögliches. Jede hat ihre Probleme. Zweier-

lei muss funktionieren: die Technologie und die Menschen, das Team. 80 Prozent der Probleme kommen von den Menschen. Das Technische bringen wir in der Regel zum Laufen. Die menschliche Komponente ist schwieriger. Das hat zu tun mit Führung, mit Kultur, mit dem Willen der Leute, alles für ein Ziel zu geben. Beim James-Webb-Weltraumteleskop war es ein solches Problem. Die Mitarbeitenden waren nicht mehr motiviert und machten unglaubliche Fehler. Bei einem Test fielen 1000 Schrauben heraus.

*Das heisst, ein wichtiger Teil Ihrer Arbeit war zu motivieren.*

Absolut. Missionen sind nur erfolgreich, wenn alle verstehen, was sie tun müssen, warum sie es tun und mit welchen Randbedingungen. Und wenn alle sagen: Wir sind ein Team.

*Sie sagten, technische Schwierigkeiten seien meist lösbar. Die Weltraumforschung ist bekannt für wahre technische Wunder, zum Beispiel dafür, hochkomplexe Geräte und Systeme zu miniaturisieren – damit man sie überhaupt auf ein Raumschiff kriegt. Wie bringt man das hin?*

Das Ziel der Weltraumforschung ist es, komplizierte Dinge auf einfache Art zu machen. Ein Labor, wie wir es hier an der ETH Zürich haben, muss man in ein Gerät verwandeln, das eine Person herumtragen kann. Dafür muss man das Gerät neu erfinden. Miniaturisieren bedeutet nicht, das Ganze einfach kleiner zu machen. Man muss einen neuen Ansatz finden.

*Haben Sie ein Beispiel aus Ihrer Zeit bei der NASA?*

Das Erste, was ich bei der NASA machte, waren Initiativen, um in jedem Bereich kleine Satelliten zu bauen. Ein Satellit von der Grösse eines Cars sollte künftig auf einen Tisch passen oder sogar nur noch so gross sein wie ein Brot. Das hat zwei Vorteile: Zum einen sind kleine Satelliten viel weniger teuer. Zum anderen kann man mit 100 kleinen Satelliten die Erde zu jeder Zeit hochaufgelöst anschauen: Wenn der erste Satellit über den Horizont verschwindet, kommt bereits der

nächste. Mit einem einzigen geostationären Satelliten geht das nicht.

*Auch dafür brauchte es einen neuen technischen Ansatz?*

Ja. Viele Leute respektieren die Miniaturisierung nicht als Innovationsteil. Aber kleiner machen, heisst in der Regel: Es muss einfacher sein. Man kann sich keine Mängel leisten. Wenn bei einem grossen Satelliten das Thermalsystem nicht zu hundert Prozent funktioniert, integriert man halt noch eine fünf Kilo schwere Heizung. Bei einem kleinen System geht das nicht, da muss von Anfang an alles perfekt sein. Häufig braucht es kleinere Systeme, wenn man in die Massenproduktion gehen will, Innovatoren verstehen das. Solche Beschränkungen bedeuten, dass man neu anfangen muss zu denken. Dabei entstehen ganz neue Ideen.

### «Wichtig ist im Innovationsbereich, dass man verrückte Dinge tut.»

*Ideen und Innovationen stehen auch im Zentrum Ihrer Arbeit an der ETH Zürich. Dort leiten Sie seit 2023 die Initiative ETH Zürich Space und sind Leiter einer Nationalen Innovationsinitiative im Bereich Space. Worum geht es?*

Wir versuchen im Weltraum-Bereich drei Pfeiler aufzubauen. Der erste ist ein neues Masterprogramm für Space-Systeme, das sich auf den Bau innovativer Systeme, auf Nachhaltigkeit und Daten fokussiert. Wir sind eine Hochschule, die wichtigsten Menschen sind die Studentinnen und Studenten. Die besten Innovationsträger sind nicht Patente, sondern Leute. Der zweite Pfeiler sind Forschungsprojekte. Die ETH war schon an einigen Weltraummissionen beteiligt, doch in Zukunft sollen es noch mehr sein.

*Und der dritte Pfeiler?*

Das sind die Innovationsinitiativen: Wir wollen noch viel mehr mit etablierten Firmen zusammenarbeiten.



**Thomas Zurbuchen**

Thomas Zurbuchen ist Professor für Weltraumwissenschaft und -technologie an der ETH Zürich, zudem leitet er die Initiative ETH Zürich Space. Der 56-jährige wuchs im Berner Oberland in der Schweiz auf und ging nach einem Physikstudium an die Universität Michigan in die USA. Seine wissenschaftliche Forschung umfasst die Sonnen- und Heliosphärenphysik, experimentelle Weltraumforschung und Weltraumssysteme; er ist auch für seine Arbeit zu Innovation und Unternehmertum bekannt. Von 2016 bis 2022 arbeitete er als Wissenschaftsdirektor der US-Raumfahrtbehörde NASA. In dieser Zeit war er verantwortlich für 130 Weltraummissionen, 37 davon wurden unter seiner Leitung ins Weltall gebracht.

Und wir wollen mithelfen, dass Start-ups wachsen können, um mit Schweizer Technologie und Unternehmertum der Welt zu helfen.

*Was braucht es, damit grosse Innovationen gelingen?*

Im Wesentlichen drei Dinge: Gute Ideen, kluge und motivierte Menschen – und Geld.

*Braucht es auch Unvoreingenommenheit – und Glück? Gerade bei der NASA sind wichtige Entwicklungen entstanden, die für viel mehr als die Weltraumforschung wichtig sind. Eine NASA-Bildsensor-Entwicklung etwa hat Handykameras ermöglicht.*

Das ist der Vorteil von Grundlagenforschung. Aus Neuem entstehen stets Dinge, die man anderswo einsetzen kann. Beim James-Webb-Weltraumteleskop entwickelten wir eine Technologie, um mit verteilten Optiken autonom und automatisch Licht an einer Stelle zu konzentrieren. Inzwischen braucht man das System auch bei Augenoperationen. Glück ist immer wichtig. Es gibt vieles, das man planen kann – aber vieles eben nicht. Wichtig ist im Innovationsbereich, dass man verrückte Dinge tut. Nicht verrückt im negativen Sinn, sondern verrückt schwierig, verrückt ambitioniert. In dieser Umgebung passieren Dinge, aus denen dann vielleicht das Internet wird. Milliarden schwere Industrien entstehen fast immer im Umfeld solcher Forschung.

*Was können die Schweiz und Mitteleuropa besser machen, um Innovationen zu fördern?*

Innovativ sein hat unheimlich viel mit der Frage zu tun, was passiert, wenn man nicht erfolgreich ist. Wenn wir nach dem ersten Versuch aufhören, hilft das nicht. Deshalb macht es mir Sorgen, wenn ich höre, dass jemand nach einem Misserfolg in die USA umziehen muss, weil er hier keine zweite Chance kriegt. Wenn ich viel Geld hätte, würde ich in der Schweiz in Leute investieren, die eine zweite Chance brauchen. Oder eine dritte.

*Haben Sie noch andere Sorgen, was Innovationen in Mitteleuropa angeht?*

Sorgen macht mir auch, dass die Produktivität zurückgeht. Wer mit innovativen Ideen die Welt verändern will, steht im Wettbewerb mit Teams auf der ganzen Welt. Wenn diese zwei Mal so hart arbeiten, haben sie die doppelte Chance. Ich glaube nicht, dass das Genie gewinnt. Ich glaube, dass derjenige gewinnt, der am Ball bleibt und hart arbeitet. Das habe ich im Berner Oberland gelernt. Aber das gilt auch im Silicon Valley, in Zürich, in Berlin und überall dazwischen.

*Welche Rolle können Stiftungen für die Förderung von wichtigen Forschungsfragen oder Innovationen übernehmen? Stiftungen sind unglaublich wichtig. Sie können mehr Risiken eingehen als staatliche Organisationen. Es gibt viele Nachweise, dass Stiftungen intel-*

ligenter investiert haben als staatliche Organisationen – und so neue, wichtige Forschungsfelder eröffneten. In die ersten Teleskope etwa, mit denen man den Weltraum beobachtete, haben Familienstiftungen investiert. Die Art und Weise, wie wir heute über uns nachdenken, ist aus solchen Investitionen entstanden.

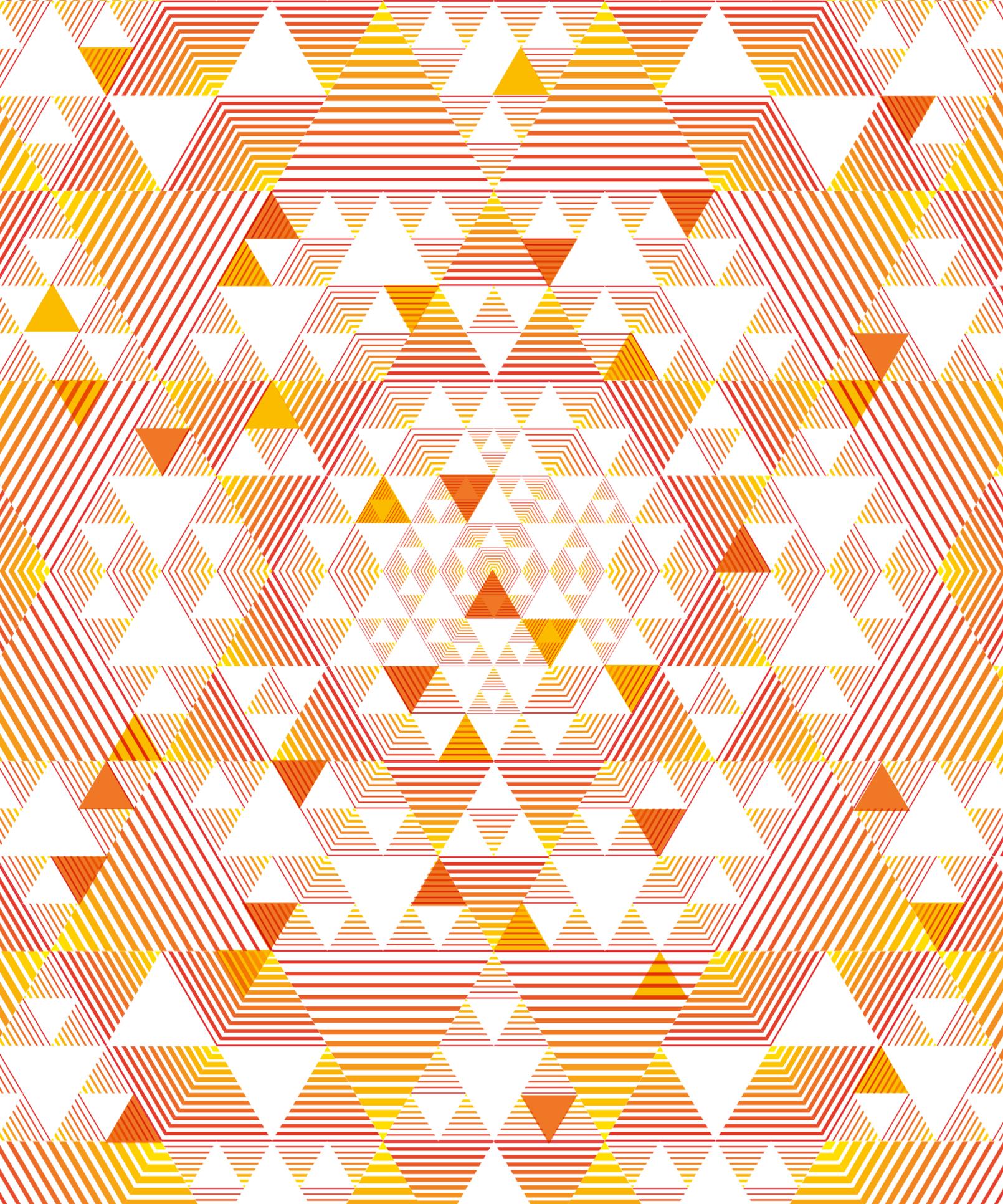
*Weltraummissionen sind typischerweise Langzeitprojekte. Viele Forschungsfördergefässe sind aber auf wenige Jahre ausgelegt. Führt das in der Weltraumforschung zu Problemen?*

Es gibt kurz- und langfristige Forschung. Beide sind wichtig. Die fundamentale, transformative Forschung braucht Geduld. Ein grosses Projekt wie das James-Webb-Weltraumteleskop funktioniert nur, wenn man 20 Jahre lang voll investiert. Die Sprünge, die daraus entstehen, sind Nobelpreise und so weiter. Ich halte eine Mischung aus Geduld und Ungeduld für eine gute Innovationsstrategie.

*Zum Schluss noch einmal zurück zu den hohen Zielen: Was ist Ihr wichtigster Rat an junge Forschende, um Grosses zu erreichen?*

Bei 80 Prozent der Ziele, die nicht erreicht werden, liegt es daran, dass man nicht probiert – nicht, dass man etwas falsch macht. Was ich jungen Menschen deshalb weitergebe: Ihr habt eine Chance, hohe Ziele zu erreichen. Probiert etwas, das die Welt besser macht!

«Eine Mischung aus Geduld und Ungeduld ist eine gute Innovationsstrategie.»



# Projekte

Tiefsee-Überwachung, Thermoelektrik, Beton-Bauten: Die Spannweite der von der Werner Siemens-Stiftung unterstützten, pionierhaften Forschungsprojekte ist gross. Die folgenden Seiten zeigen auf, welche Fortschritte jene Projekte gemacht haben, die nicht im Fokusteil des Reports vorgestellt wurden.



Gelungene Auftaktveranstaltung: Das «catalaix»-Team mit Gastreferenten und Vertretern der Werner Siemens-Stiftung.

# Das Jahrhundertprojekt legt los

Das WSS-Forschungszentrum «catalaix» hat seine Arbeit aufgenommen. An einer festlichen Auftaktveranstaltung in Aachen zeigten die Forschenden auf, wie sie Kunststoffe in ihre Einzelteile zerlegen und so die Basis schaffen wollen für eine mehrdimensionale Kreislaufwirtschaft.

Es ist ein gewaltiges Ziel, das sich die Forschenden um Regina Palkovits und Jürgen Klankermayer von der RWTH Aachen gesetzt haben: Sie arbeiten an nichts weniger als an einer Revolution der chemischen Industrie. Heute wandelt die chemische Industrie hauptsächlich erdölbasierte Rohstoffe mit ausgeklügelten Verfahren in die unterschiedlichsten Produkte um. Ein Grossteil dieser Produkte landet am Ende ihrer Lebenszeit im Abfall.

Das möchten die Aachener Forschenden ändern – mithilfe von massgeschneiderten Katalysatoren, welche solche Produkte in molekulare Bausteine zerlegen, die sich in eine mehrdimensionale Kreislaufwirtschaft einspeisen und wieder verwerten lassen. Dabei legen die Forschenden ihren Fokus zunächst auf die Kunststoffindustrie. Im vergangenen Jahr konnten sie dieses ambitionierte Vorhaben in einem – im wahrsten Sinn des Worts – «Jahrhundertprojekt» anpacken. Sie gewannen nämlich mit ihrem Projekt «catalaix» den mit 100 Millionen Schweizer Franken dotierten Ideenwettbewerb, den die Werner Siemens-Stiftung (WSS) zu ihrem hundertjährigen Bestehen ausgeschrieben hatte.

## Glückwünsche und Vorträge

Ende September fand in Aachen die Auftaktveranstaltung des WSS-Forschungszentrums «catalaix» statt. Rund 200 Gäste aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft nahmen an dem festlichen und wissenschaftlich hochstehenden Anlass teil. Christina Ezrahi, Mitglied des Beirates der Familie der WSS, überbrachte die Glückwünsche der Stiftung. Sibylle Keupen, die Oberbürgermeisterin der Stadt Aachen, und Ulrich Rüdiger, der Rektor der RWTH Aachen, betonten die Bedeutung des neuen Forschungszentrums für Aachen und seine Universität.

In einer Gesprächsrunde und in Vorträgen stellten Fachleute das Projekt in einen grösseren Kontext. Den Einfluss von Plastikabfällen in den Ozeanen auf das maritime Ökosystem veranschaulichte Steffen Knodt, Vorstandsmitglied der Gesellschaft für Maritime Technik und der UN-Ozean-dekade. Im Jahr 2050, sagte er, werde

es ungefähr gleich viel Plastikmüll im Meer haben wie Fische.

André Bardow, Professor für Energie- und Prozesssystemtechnik an der ETH Zürich, skizzierte den steinigen Weg, um die Plastikindustrie klimaneutral zu machen. Laut ihm braucht es nicht nur eine Recyclingquote von mindestens 75 Prozent, sondern auch den Einsatz von grossen Mengen an Biomasse und erneuerbaren Energien. Und Bert Weckhuysen, Professor für Anorganische Chemie und Katalyse an der Universität Utrecht, zeigte auf, wie sich in der «Raffinerie der Zukunft» chemische Produkte aus Plastikabfällen und erneuerbaren Energien statt aus Rohöl herstellen lassen.

## Bindungen spalten statt knüpfen

Regina Palkovits und Jürgen Klankermayer stellten die Idee von «catalaix» und die ersten Schritte des Forschungszentrums vor. Im Zentrum steht die Katalyse – jene Technik, die chemische Reaktionen beschleunigt oder erst ermöglicht. Bislang, erklärte Klankermayer, sei die Katalyse vor allem genutzt worden, um Bindungen zu knüpfen. «Wir wollen mit ihr auch Bindungen spalten.» Und zwar zu hochwertigen molekularen Bausteinen, die sich in verschiedenen Produktionsketten einsetzen lassen. «Kunststoffabfall soll zum Wertstoff werden», sagte Klankermayer.

Regina Palkovits betonte, dass massgeschneiderte Katalysatoren alleine nicht reichen. Es müssen skalierbare Verfahren entwickelt werden, die auch mit grossen Produktionsmengen funktionieren. Aus diesem Grund ist das «catalaix»-Team mit seinen 17 Forschungsgruppen enorm interdisziplinär aufgestellt und bearbeitet sämtliche Schritte vom Labor über die Pilotanlage bis zur Wertschöpfungskette für entstehende Produkte.

Die Arbeiten schreiten bereits zügig voran: Jürgen Klankermayer zeigte an einem Beispiel auf, wie sich der Kunststoff Polyethylen in bioabbaubare Polymilchsäure verwandeln lässt. Und er führte ein von seiner Forschungsgruppe entwickeltes Polymer vor, dessen Bindungen sich mit einer Stromquelle spalten lassen. In Kurzvorträgen und auf Postern präsentierten zudem

mehrere Leiterinnen und Leiter von «catalaix»-Forschungsgruppen erste Resultate ihrer Ansätze.

Ulrich Schwaneberg beispielsweise entwickelt sogenannte Materialbindepeptide, die sich äusserst spezifisch an unterschiedliche Kunststoff-Typen anheften. Sie könnten in Zukunft von entscheidender Bedeutung sein, um Kunststoff-Gemische voneinander zu trennen. Und Lars Blank arbeitet mit Mikroorganismen, die Plastikverbindungen spalten können. Seinem Team gelang es, das Bakterium *Pseudomonas putida* gentechnisch so zu verändern, dass es verschiedene Kunststoffbausteine gleichzeitig effizient abbaut.

Es wird interessant sein zu sehen, wie das Projekt «catalaix» die Kunststoff- und Chemieindustrie in den kommenden Jahren beeinflussen wird.

WSS<sup>100</sup>

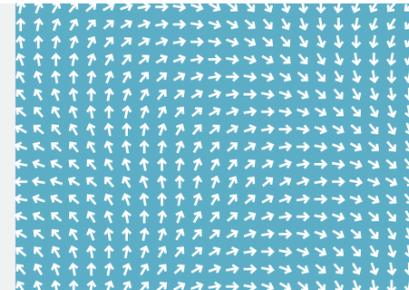
## catalaix

Ein Grossteil der chemisch produzierten Produkte landet am Ende ihrer Lebenszeit im Abfall. Das Team um Regina Palkovits und Jürgen Klankermayer von der RWTH Aachen will das ändern – mithilfe von Katalysatoren, welche die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen erhöhen oder erst ermöglichen. Ihr erstes Ziel ist es, dank neuartigen Katalysatoren Kunststoffe und Kunststoffgemische zu vielseitig einsetzbaren Bausteinen abzubauen. Auf diese Weise entsteht ein Baukastensystem für eine mehrdimensionale Kreislaufwirtschaft in der Chemie.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
100 Mio. Schweizer Franken  
**Projektdauer** 2024–2034  
**Projektleitung** Prof. Dr. Jürgen Klankermayer, Lehrstuhl für Translationale Molekulare Katalyse, RWTH Aachen  
Prof. Dr. Regina Palkovits, Lehrstuhl für Heterogene Katalyse und Technische Chemie, RWTH Aachen

# Neuste Daten zu El Niño

Zur richtigen Zeit am richtigen Ort: Die segelnde Forschungsjacht «Eugen Seibold» schaffte es, detaillierte wissenschaftliche Daten zu den Wetterereignissen El Niño und La Niña im Pazifik zu erheben – eine Weltpremiere.



## Forschungsjacht «Eugen Seibold»

Die segelnde Forschungsjacht ist seit 2020 auf den Weltmeeren für die Erforschung von Wasser und Atmosphäre im Einsatz. Das wissenschaftliche Team beprobte als Erstes den Atlantik. Derzeit erhebt es im östlichen Pazifik umfassende Daten zu den Extremwetterereignissen El Niño und La Niña.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
3,5 Mio. Euro (2015–2019 Bau, Infrastruktur)  
3 Mio. Euro (2020–2030 Betrieb)  
**Projektdauer** 2015–2030  
**Projektleitung** Prof. Dr. Gerald Haug, Direktor der Abteilung Klimageochemie, Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, und Professor an der ETH Zürich  
Dr. Ralf Schiebel, Gruppenleiter Mikropaläontologie, Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

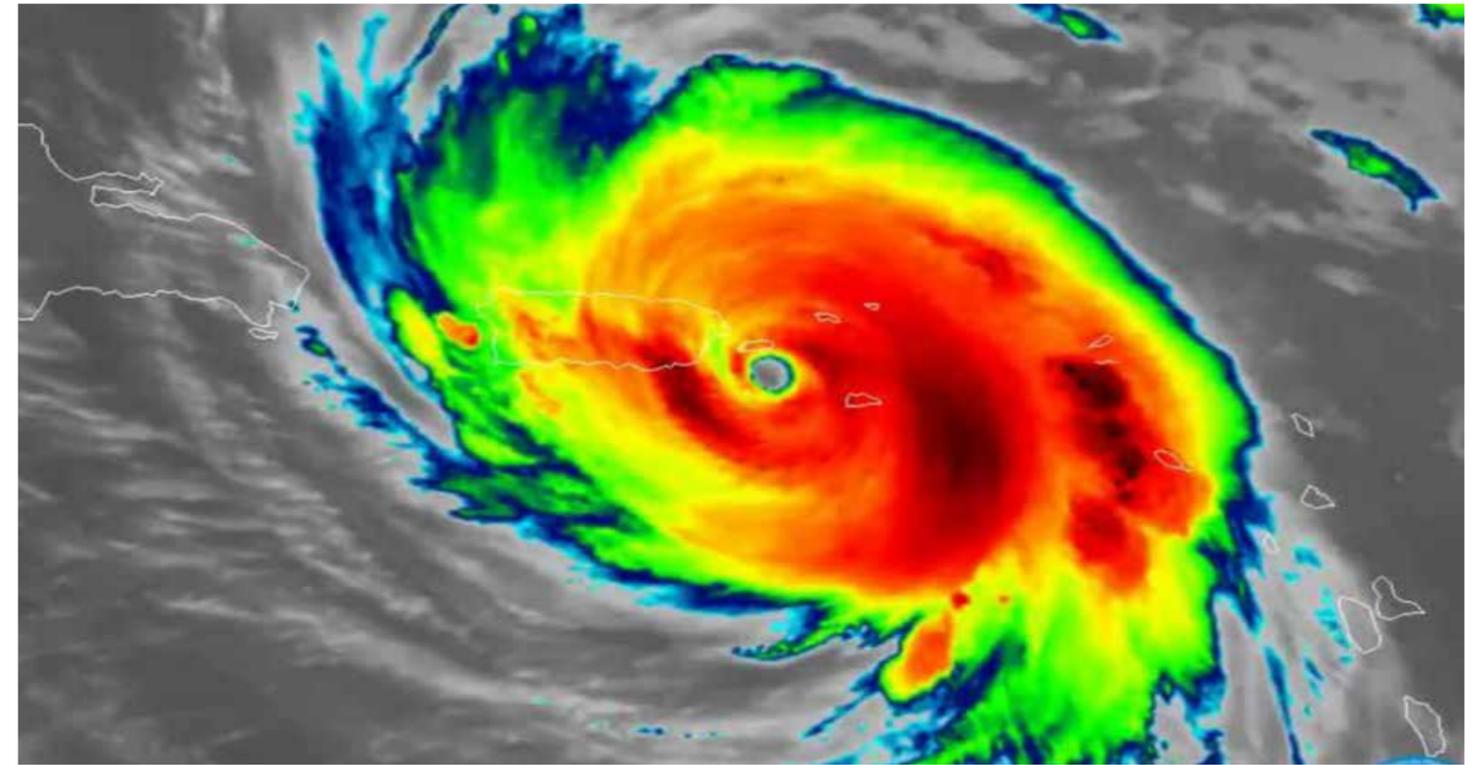
Alle zwei bis sieben Jahre kommt um Weihnachten herum nicht nur das Christkind, sondern auch das Wetterphänomen El Niño. Es bringt ein «Geschenk» mit, das sich niemand wünscht: Hitze. Die Temperatur am Äquator steigt zu Wasser und zu Lande markant an. Die Luft- und die Meeresströmungen zwischen Südamerika und Südostasien ändern sich während rund einem halben Jahr, sodass kein kaltes Tiefenwasser aus dem Ostpazifik hochsteigt. El Niño wirkt sich in weiten Teilen der Welt verheerend aus – mit Dürren, Überschwemmungen, Hurrikanen, Artensterben.

Obwohl der hitzige El Niño und seine Gegenspielerin, die kalte La Niña, natürliche Wetterphänomene sind und seit mindestens 450 Jahren wiederkehren, weiss man nach wie vor nicht, was genau während diesem Ozean-Atmosphären-Grossereignis im Pazifik vor sich geht. Dank der von der Werner Siemens-Stiftung finanzierten Forschungsjacht «Eugen Seibold» können El Niño und La Niña nun erstmals umfassend erforscht werden.

Im Frühjahr 2023 verlegten die Forschenden die «Eugen Seibold» in den Hafen von Panama City und beprobten den Ostpazifik noch im Normalzustand, vor El Niño. Ende 2023 zeigte sich El Niño dann in seiner vollen Stärke. «Als wir im Dezember auf See waren, war das Wasser so warm, dass unsere Klimaanlage für die Kühlung der gesammelten Proben auf der «Seibold» fast zusammenbrach», erzählt Klimageochemiker Gerald Haug, der «Vater» der «Seibold». Doch das Team schaffte es, die äquatorialen Meeresgebiete zwischen Panama und den Galapagosinseln zu beproben.

### Extreme Klimaschaukel

Neben der dramatisch steigenden Wassertemperatur massen die Forschenden kontinuierlich und über Monate die wichtigsten physikalischen, chemischen und biologischen Parameter. Etwa die Konzentrationen von CO<sub>2</sub>, Phosphat, Nitrat oder Chlorophyll – und deren Wechselwirkungen. «Wir wollen El Niño in seiner ganzen Komplexität verstehen, im Wasser, in der



Das Wetterphänomen El Niño kann auch die Entstehung von Hurrikanen begünstigen.

Atmosphäre und an der Schnittstelle, der Wasseroberfläche, wo der Gasaustausch stattfindet», sagt Haug.

In der Hochphase von El Niño stieg die Wassertemperatur im Ostpazifik rekordverdächtig an. Das Amazonas-Becken und der Norden Brasiliens erlebten eine Jahrhundertdürre, in Indien wurde es bis zu 52 Grad heiss. Im Laufe des Sommers 2024 flaute El Niño ab und die Wassertemperaturen im tropischen Ostpazifik sanken regional um fast 10°C, was darauf hindeutet, dass sich die kühle Gegenspielerin La Niña einstellen könnte. «Das ist ein enormer Unterschied», betont Ralf Schiebel, «Seibold»-Forschungsleiter und Gruppenleiter in der Abteilung Klimageochemie, die von Gerald Haug am Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz geleitet wird.

Nun liegen erstmals komplette Datensätze zur Klimaschaukel El Niño – La Niña vor. Direktor Gerald Haug ist sehr zufrieden: «Wir haben alle Daten, die wir wollten, vollständig beisammen.»

Gibt es bereits Trends zu erkennen? Haug und Schiebel winken ab. «Ei-

nen vollen Datensatz zu analysieren, braucht drei bis vier Jahre Zeit», erklärt Schiebel. Die Messdaten müssen bereinigt und einem Qualitätsmanagement unterzogen werden. Und die Daten aus Luft und Wasser müssen zueinander in Beziehung gebracht werden. Denn zwischen Ozean, Erdkruste und Atmosphäre existieren zahlreiche Wechselwirkungen, Rückkoppelungseffekte und Abhängigkeiten. Als Beispiel nennt Schiebel die CO<sub>2</sub>-Messungen: «Die Galapagosinseln sind vulkanisch aktiv, und natürliche Ausgasungen können zu lokal erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen führen. Das müssen wir aus den hohen CO<sub>2</sub>-Werten, die wir gemessen haben, herausrechnen.»

### Messbar wärmere Tiefsee

CO<sub>2</sub> muss auch immer zusammen mit der Temperatur, dem Salzgehalt des Wassers und dem Luftdruck interpretiert werden. Je kälter und weniger salzig das Wasser und je höher der CO<sub>2</sub>-Druck in der Atmosphäre, desto mehr CO<sub>2</sub> wird im Oberflächenwasser des Ozeans gelöst. «CO<sub>2</sub>-Messungen ohne

Temperaturangaben machen deshalb keinen Sinn», betont Schiebel.

Die Wassertemperatur messen die Forschenden auf den Tausendstel genau. Denn normalerweise werden nur die oberen Wasserschichten von Sonne und Luft erwärmt, unterhalb von rund 200 Metern sollte es konstant kalt bleiben. Wird es im tiefen Pazifik auch nur ein paar Hundertstelgrade wärmer, «war sehr, sehr viel Energie im Spiel», so Schiebel. Und diese liefert offenbar die menschengemachte Klimaerwärmung bereits: «Der Ozean hat sich mittlerweile auch unterhalb von 2000 Metern Tiefe signifikant erwärmt», sagt Schiebel.

Mehr Energie im System erhöht das Risiko für Tropenstürme. Winde wiederum treiben zahlreiche weitere Prozesse in den Weltmeeren an. «Daraus resultieren verschiedene Rückkoppelungseffekte, und die sind schwierig zu durchschauen», sagt Haug. Die umfassenden Datensätze, die die «Seibold» in den kommenden Jahren erhebt, legen nun die Basis für ein tieferes Verständnis der Weltmeere in Zeiten der Klimaerwärmung.



Ein Schlag gegen Viren diverser Art: Francesco Stellaccis Idee der Breitband-Antivirotika beginnt Früchte zu tragen.

# Wirkstoffe gegen Viren

Francesco Stellaccis Idee der Breitband-Antivirotika nimmt Fahrt auf. Er und sein Team an der ETH Lausanne (EPFL) haben ihr Rezept zur Herstellung solcher Wirkstoffe erweitert – und gleich mehrere neue, aussichtsreiche Präparate gegen verschiedene Viruserkrankungen entwickelt.

Obwohl Viren seit über 100 Jahren bekannt sind, stellen sie die Medizin noch immer vor grösste Herausforderungen. Zwar gibt es gegen einige Viruserkrankungen äusserst wirksame Impfungen. Doch Medikamente, mit denen sich laufende Virus-Infektionen bekämpfen lassen, sind rar. Insbesondere gibt es bislang keine Wirkstoffe, die – analog zu den Breitband-Antibiotika gegen bakterielle Infektionen – gegen ein breites Spektrum von viralen Infekten wirken.

Die Forschungsgruppe von Francesco Stellacci vom «Supramolecular Nano-Materials and Interfaces Laboratory» an der EPFL will das ändern. Sie entwickelt Breitband-Antivirotika, deren Wirkstoffe die Viren bereits angreifen, bevor diese zur Vermehrung in eine Zelle eindringen. Um ihr Ziel zu erreichen, ergänzen die Forschenden ganz bestimmte Zuckermoleküle, sogenannte Cyclodextrine, mit mehreren wasserabweisenden Ketten aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen.

#### Druck zerstört Virenhülle

Diese fingerartigen Kohlenwasserstoff-Fortsätze ziehen dank ihren chemischen Endgruppen Viren an, binden sich an sie – und üben einen derart starken mechanischen Druck auf sie aus, dass die Virenhülle zerstört wird. Die Viren sind damit im Gegensatz zu

bisher entwickelten antiviralen Medikamenten nicht nur in ihrer Vermehrung blockiert, sondern effektiv und irreversibel zerstört. Ihre Überreste werden vom Immunsystem entsorgt. Weil der Vorgang ausserhalb der Zelle stattfindet, bleiben die menschlichen Zellen unversehrt.

Auf der Basis solcher Cyclodextrin-Kerne haben Stellacci und sein Team bereits ein sehr vielversprechendes Medikament entwickelt. Es wirkt gegen Grippe- und andere Viren. «Wir konnten zeigen, dass es nicht nur in Zellkulturen, sondern auch im Tierversuch – bei Frettchen – wirkt», sagt Francesco Stellacci. «Und wir haben es so weiterentwickelt, dass es als inhalierbares Pulver einfach zu verabreichen ist.» Nun suche er Fördergelder, um die Substanz zu einem marktfähigen Medikament zu entwickeln. «Das ist ein gewaltiger und teurer Schritt», sagt Stellacci.

#### Neue Wirkstoff-Kerne

Gleichzeitig haben die Forschenden ihr Rezept zur Herstellung von antiviralen Wirkstoffen erweitert. Zum einen begannen sie, neue Verbindungen als Medikamenten-Kerne auszuprobieren. Denn es stellte sich heraus, dass die Antivirotika mit einem Cyclodextrin-Kern aus einem bisher unbekanntem Grund wenig wirksam sind gegen das Coronavirus SARS-CoV-2. Als aussichtsreiche Alternativen, um die Viren-bindenden Kohlen-Wasserstoff-Ketten anzubringen, erwiesen sich sogenannte Benzole. Dabei handelt es sich um ringförmige Moleküle, die in ihrer Grundform aus sechs Kohlenstoff- und sechs Wasserstoffatomen bestehen.

Auf der Basis eines solchen Benzol-Kerns entwickelten die Forschenden ein Molekül, das sich im Tierversuch gegen SARS-CoV-2 als mindestens genauso wirksam erwies wie das heute empfohlene Präparat zur Frühbehandlung von Risikopatienten. Das Lausanner Medikament hat aber Vorteile bezüglich schwerer Lungenschäden – und es wirkt nicht nur gegen SARS-CoV-2, sondern auch gegen diverse andere Viren wie Influenza, RSV, Herpes, Hepatitis, HIV oder das Epstein-Barr-Virus.

Erweitert haben Stellacci und sein Team auch die Funktionen ihrer Wirkstoffe. So publizierten sie im abgelaufenen Jahr eine Studie mit einer Substanz, die eine Doppelfunktion gegen Grippeviren übernimmt: Einerseits wirkt sie als Medikament, indem sie die Viren am Eindringen in die Zelle hindert und zerstört. Andererseits stimuliert sie das Immunsystem, wirkt also wie eine Impfung.

Aktuell sucht Stellacci weitere, vielleicht noch wirksamere Substanzen auf der Basis von Benzol-Kernen. Auch bei den fingerartigen Fortsätzen seiner Moleküle, den Viren-bindenden Kohlen-Wasserstoff-Ketten, sieht er weiteres Potenzial. «Wir haben bereits gute Resultate bei Respiratorischen Synzytial-Viren (RSV) und Herpes-simplex-Viren (HSV)», erzählt er. Weitere, diese Prognose darf man wagen, werden folgen.



## Antivirale Medikamente

Materialwissenschaftler Francesco Stellacci und sein Team entwickeln künstliche Moleküle, die Viren vor dem Eintritt in die menschlichen Zellen mittels hydrophoben Drucks zerstören. Ziel ist die Entwicklung sowohl von Breitband-Antivirotika gegen unterschiedliche Viren als auch spezifischer Medikamente gegen bestimmte Viren.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
5 Mio. Schweizer Franken (2020–2021)  
4,5 Mio. Schweizer Franken (2021–2023)  
**Projektdauer** 2020–2023  
**Projektleitung** Prof. Dr. Francesco Stellacci, Supramolecular Nano-Materials and Interfaces Laboratory (SuNMIL), Institute of Materials, École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

# Neue Ideen für das Felslabor

Das Bedretto-Untergrundlabor ist bereit für die Zukunft: Neue Forschungsprojekte laufen an, weitere internationale Kooperationen sind geplant – und eine Idee sieht vor, die Messmöglichkeiten durch eine Bohrung bis zwei Kilometer unterhalb des Tunnels deutlich zu erweitern.



## Bedretto-Untergrundlabor

Die Werner Siemens-Stiftung hat den Bau eines weltweit einzigartigen Untergrundlabors im Gotthardmassiv finanziert und unterstützt dort innovative Forschungsprojekte. Das BedrettoLab erlaubt es Forschenden der ETH Zürich, zusammen mit Partnern aus dem In- und Ausland die sichere Nutzung und Speicherung von geothermischer Energie und die Physik von Erdbeben unter realen Bedingungen zu erforschen.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
12 Mio. Schweizer Franken  
Projektdauer 2018–2024  
Projektleitung Prof. Dr. Domenico Giardini,  
Professor für Seismologie und Geodynamik,  
ETH Zürich

Im BedrettoLab, tief im Gotthardmassiv, sprudeln die Ideen. Die Forschenden in dem Erdbeben- und Erdwärme-Forschungslabor, das dank der Werner Siemens-Stiftung errichtet werden konnte, haben gleich mehrere Neuerungen im Köcher, wie Forschungsleiter Domenico Giardini von der ETH Zürich erzählt. «In einer solchen einmaligen Infrastruktur ergeben sich stets neue Ideen.»

Ein wichtiger Aspekt im BedrettoLab ist die Sicherheit – schliesslich finden die Forschungsarbeiten tief im Tunnel statt. «Eines unserer Ziele ist es, möglichst viele Arbeiten zu automatisieren – damit wir sie von aussen steuern können und sich dafür niemand im Tunnel aufhalten muss», sagt Giardini. Das Vorhaben ist auf Kurs. Sensoren, Pumpen und vieles mehr werden inzwischen praktisch vollständig von aussen kontrolliert und eingestellt.

Das wird sich beim Projekt BEACH auszahlen, das angelaufen ist. Dabei geht es um die Speicherung von Energie im Untergrund: Im Sommer wird

Wasser mit überschüssigem Solarstrom erhitzt und ins Gestein gepresst, um damit den Fels zu erwärmen. Im Winter wird die Energie aus diesem Wärmereservoir genutzt. Um zu untersuchen, wie gut dieses Prinzip unter verschiedenen Bedingungen im kristallinen Gestein funktioniert, lassen die Forschenden unterschiedliche Wassermengen mit diversen Drücken und Temperaturen einfliessen. Diese Parameter können sie nun von aussen kontrollieren.

### Ein neuer Seitentunnel

Wichtig ist die Automatisierung auch im Hinblick auf das FEAR-Projekt, welches gerade voll im Gang ist. Entlang einer grossen Verwerfung bohrt eine spezialisierte Firma momentan einen rund 130 Meter langen Seitentunnel. Er wird es erlauben, in der Verwerfung unter kontrollierten Bedingungen Erdbeben zu erzeugen und mit einem Netz von Sensoren aus nächster Nähe zu untersuchen. Die Forschenden haben bereits Zehntausende von Mikroeben mit ei-



Das Bedretto-Untergrundlabor ist vollgepackt mit Pumpen, Sensoren und Leitungen, die für die zahlreichen Forschungsprojekte benötigt werden.

ner Stärke von minus fünf bis null ausgelöst und planen, weitere Beben mit einer Stärke von null bis eins zu erzeugen.

Eine ganz neue Idee betrifft die Messmöglichkeiten im Fels. «Bislang können wir nur messen, was unmittelbar um oder oberhalb der Bohrlöcher passiert», sagt Giardini. Doch um ein ganzheitliches Bild zu bekommen, wäre es auch wichtig zu wissen, was darunter passiert, also noch tiefer im Fels. «Deshalb möchten wir eine Bohrung für Messsensoren machen, die bis zwei Kilometer unter den Bedretto-tunnel reicht», sagt Giardini.

Eine solche Bohrung, die vom Tunnelleingang her schräg nach unten führen würde, ist ein kostspieliges Unterfangen. Die Forschenden stellen momentan die nötigen Berechnungen an, um auf die Suche nach Finanzierungsmöglichkeiten zu gehen. «Wenn wir dieses Projekt verwirklichen können, werden wir in der Lage sein, Experimente in einer Tiefe von bis zu dreieinhalb Kilometern unter der Oberfläche zu überwachen und durchzuführen»,

sagt Giardini. «Das wurde noch nie gemacht.» Dauern würde das Vorhaben mehrere Jahre. Der Zeitpunkt, solche langfristigen Projekte anzupacken, ist günstig. Die ETH Zürich ist bereits mit der Matterhorn-Gotthard-Bahn im Gespräch, um den Weiterbetrieb des Felslabors für weitere zehn Jahre zu sichern. «Dann können wir sicherstellen, dass der Tunnel auch in den kommenden Jahren weiterhin genutzt werden kann», sagt Giardini.

### Internationale Kooperationen

Das ist auch wichtig im Hinblick auf internationale Kooperationen. Das Interesse am Felslabor ist nämlich enorm, viele internationale Kooperationen bestehen bereits. Im Sommer, erzählt Giardini, sei eine zehnköpfige Delegation aus China zu Besuch gewesen. Im Westen Chinas würden hunderte von Tunnelkilometer für neue Zugverbindungen gebaut. «Dabei wird auch in grosse Verwerfungen gebohrt, die das Potenzial haben, grosse Beben auszulösen – und China möchte das nutzen,

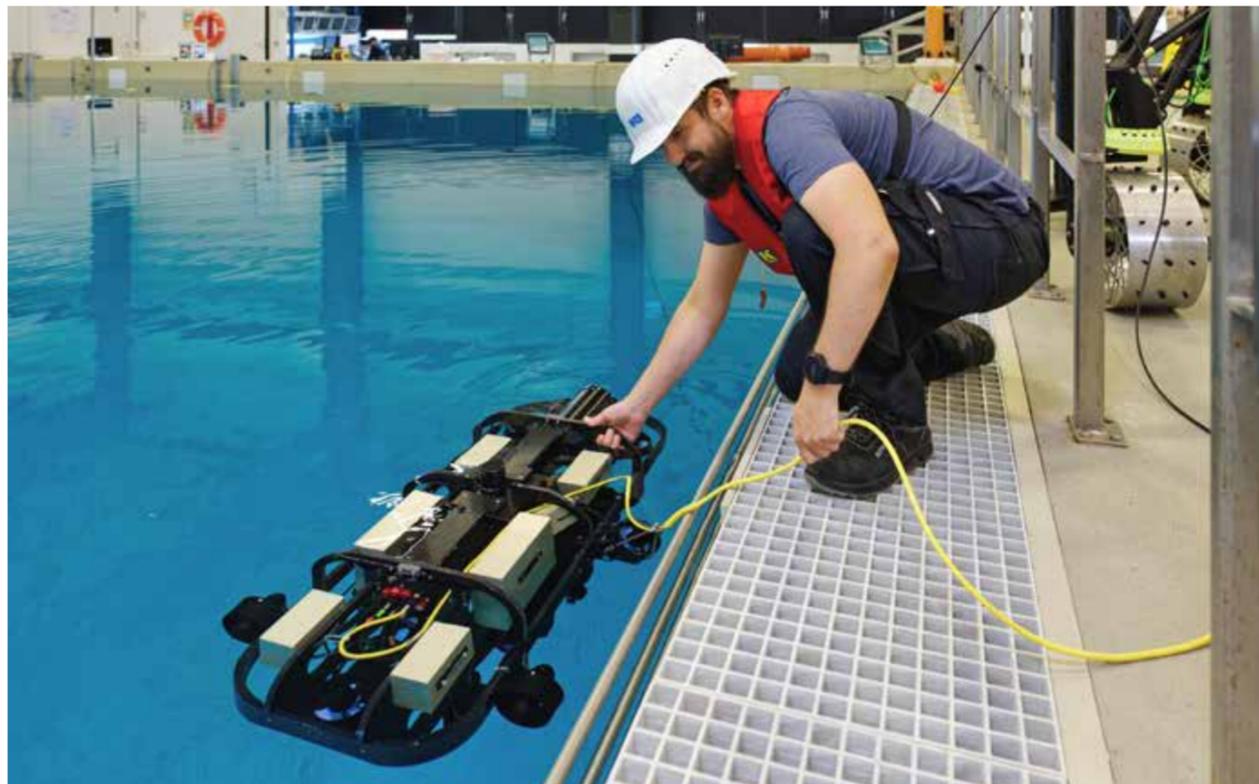
um gleichzeitig Erdbebenforschung zu betreiben.»

Geplant ist schliesslich eine offizielle Zusammenarbeit zwischen der ETH Zürich und der Helmholtz-Gemeinschaft. Letztere finanziert in Deutschland mit mehreren Dutzend Millionen Euro den Bau eines Untergrund-Labors – ein bisschen nach dem Vorbild des BedrettoLabs. «Doch dieses Labor muss von Grund auf ausgebaut werden, das dauert mindestens zehn Jahre», erzählt Giardini. Die Kooperation würde es den deutschen Forschenden ermöglichen, bestimmte Experimente schon vorgängig im BedrettoLab durchzuführen.

«Auch für uns hat eine solche Zusammenarbeit auf institutioneller Basis nur Vorteile», freut sich Giardini. «So können wir in Zukunft Tests aus dem BedrettoLab unter anderen geologischen Verhältnissen in Deutschland überprüfen. Oder wir können gemeinsam Experimente planen – das senkt unsere Kosten und es sitzen mehr kluge Köpfe an einem Tisch.»

# Basisstation in der Tiefsee

Grosse Fortschritte am Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung in Bremen: Navigation, Datenübertragung und Energieversorgung der Unterwasserroboter sind viel besser geworden. Neu liefert eine stationäre Basisstation, die gezielt auf dem Meeresboden platziert wird, die fürs Tiefsee-Monitoring benötigte Energie und einen sicheren Datenspeicher für ein Unterwasserfahrzeug.



Ab auf Tauchstation! SPIRULA wird in der Unterwasser-Explorationshalle für Tiefseeroboter in Bremen getestet.

Ralf Bachmayer und sein Team vom Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung haben ihr Monitoring-System um eine multifunktionale Komponente ergänzt: die Basisstation. Diese fungiert als unterseeische Lade- station, Rechenknoten und Datenspei- cher, auf die das Unterwassergefährte seine gesammelten Daten übertragen kann. Die Basisstation lässt sich an beliebigen Orten auf dem Meeresbo- den platzieren. Weil sie aus Stahl und schwer ist, bewegen sie selbst starke Strömungen nicht.

Die Idee dieser Basisstation-Fahr- zeug-Kombination entstand während des letztjährigen Einsatzes des bishe- rigen Systems in der Nordsee, erzählt Bachmayer. Die Forschenden wollten natürlich auftretende Gas-Austritte detektieren – und kämpften mit den Naturgewalten. «Starke Strömungen, ausgeprägte Gezeiten, schlechte Sicht – das ganze Programm», erinnert sich Bachmayer. «Wir fragten uns ernsthaft, wie kann man in so einer Umgebung ein autonomes Unterwasserfahrzeug längere Zeit am Meeresboden lassen und sicherstellen, dass es immer noch da ist, wenn man zurückkommt?» Es wurde klar: Mehr technische Zuverläs- sigkeit und Robustheit waren nötig.

#### Grossflächiges Monitoring möglich

Das überarbeitete Konzept sieht nun vor, dass das Unterwasserfahrzeug während seiner Erkundungstour mit der Basisstation über ein Kabel ver- bunden bleibt. Es spult sich am Kabel ab und erfüllt seine Monitoring-Auf- gaben auf einem spiralförmigen Pfad rund um die Basisstation herum. Die Forschenden haben das neue System SPIRULA getauft – in Anlehnung an gleichnamige kleine Tintenfische, die in einem spiralförmigen Gehäus leben. Ausformuliert bedeutet SPIRULA: SPiraling Intelligent Robotic Under- water monitoring pLATFORM.

Der maximale Aktionsradius, mit dem das Fahrzeug um die Basisstation kreisen kann, beträgt 20 Meter. Daraus ergeben sich gut 1200 Quadratmeter zusammenhängend erforschbare Flä- che. «Eine solch grosse Bodenfläche wiederholbar und hochgenau position- nierbar zu erforschen, ist ein gewalti- ger Fortschritt», sagt Michael Schulz,

ehemaliger Direktor des MARUM in Bremen, wo das Innovationszentrum angesiedelt ist. Bisher waren nur punk- tuelle Messungen ohne unmittelbaren Umgebungskontext möglich, was die Forschung stark einschränkte. «Mit SPIRULA sind wir nun in der Lage, eine grosse Fläche Meeresboden unter den unterschiedlichsten Bedingungen zu analysieren», sagt Schulz und betont, dass dieser Fortschritt durch die För- dergelder der Werner Siemens-Stif- tung möglich wurde.

Das Fahrzeug macht, während es am Kabel sanft über den Meeresboden gleitet, mit der Kamera am «Bauch» wiederholt kurze sich überdeckende Blitzlichtaufnahmen des Untergrunds; aus den Fotos lassen sich 3D-Abbil- dungen des Tiefseebodens rekons- truieren. Mit dem Sonar-Aufbau an der Vorderseite nimmt es akustische Informationen auf. So kann das Fahr- zeug selbst bei null Sicht die Tiefsee er- forschen, denn sein Sonarsystem zeigt zuverlässig auftauchende Hindernis- se wie Felsbrocken an. «Das Fahrzeug darf ja auch bei schlechter Sicht nicht mit dem Meeresboden kollidieren und wertvolle Ökosysteme wie Korallen zer- stören», sagt Bachmayer.

Die akustischen und visuellen Auf- nahmen lassen sich kombinieren mit den Messungen von ebenfalls am Fahrzeug montierten Sensoren, die Wassereigenschaften wie Temperatur, Salz- und Sauerstoffgehalt sowie Trübe aufzeichnen.

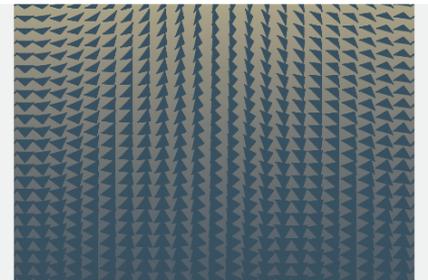
#### Energie und Rechenleistung

Geht die Energie des Fahrzeugs zur Neige, dockt es selbstständig bei der Basisstation an und lädt dort seine Batterien auf. Über die Glasfaserkabel- verbindung zur Basisstation überträgt es auch kontinuierlich die gesammel- ten Daten auf dessen gut geschützten, leistungsstarken Computer. Dieser verarbeitet die Daten weiter, generiert neue Karten, detektiert Veränderun- gen, erstellt selbständig einen neuen Missionsplan für die nächste Fahrt und extrahiert bereits Informationen aus den Rohdaten, die nach oben ans Forschungsschiff geschickt werden können.

Auch der Einsatz des Forschungs- schiffs wird dank SPIRULA effizienter.

«Das Forschungsschiff kann unsere Basisstation mit dem Unterwasser- fahrzeug einfach an einem Ort in der Tiefsee abstellen und danach gleich zur nächsten Mission weiterfahren», so Michael Schulz. «Bei der Rückkehr lassen sich im Idealfall eine vollstän- dige Karte und weitere Umweltinfor- mationen des erforschten Tiefseege- biets auf die Server des Forschungs- schiffs übermitteln.»

Auch Aufzeichnungen über Tage und Wochen werden möglich. «So lässt sich zum Beispiel untersuchen, wie sich Kaltwasserkorallen unter sich ändernden Umweltbedingungen entwickeln – eines unserer nächsten Forschungsziele am MARUM», sagt Bachmayer.



## Innovationszentrum für Tiefsee-Umwelt- überwachung

Das Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung am MARUM in Bremen entwickelt nachhaltige Beobachtungs- und Monitoring-Systeme, die in der Tiefsee insbesondere zur Bestimmung und Überwachung schützenswerter Tiefseeregionen eingesetzt werden können.

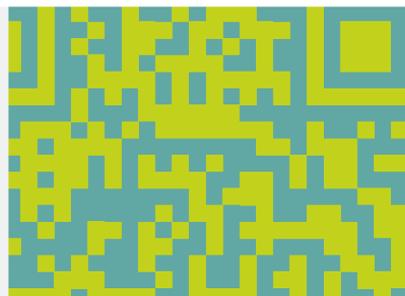
#### Mittel der Werner Siemens-Stiftung

4,975 Mio. Euro  
Projektdauer 2018–2028

**Projektleitung**  
Prof. Dr. Michael Schulz, bis Ende 2024  
Direktor MARUM – Zentrum für Marine Um-  
weltwissenschaften der Universität Bremen  
Prof. Dr. Ralf Bachmayer, MARUM – Zentrum  
für Marine Umweltwissenschaften der  
Universität Bremen

# Cleverere Systeme für digitale Sicherheit

Der digitale Datenaustausch steckt voller Gefahren. Am Zentrum für digitales Vertrauen an der ETH Zürich entwickeln Informatiker Systeme, um die digitale Sicherheit zu verbessern. Nun hat die Gruppe von Co-Forschungsleiter Adrian Perrig Fortschritte auf verschiedenen Ebenen erzielt.



## Zentrum für digitales Vertrauen

Hacker und Cyberkriminelle untergraben das Vertrauen in den digitalen Datenaustausch. Das Zentrum für digitales Vertrauen an der ETH Zürich und der Universität Bonn entwickelt eine fundamentale neue Sicherheitsarchitektur für das Internet. Es überträgt Vertrauensbeziehungen aus der physischen auf die digitale Welt.

### Mittel der Werner Siemens-Stiftung

9,83 Mio. Schweizer Franken

Projektdauer 2019–2027

Projektleitung Prof. Dr. David Basin, Department of Computer Science (D-INFK), Informationssicherheit, ETH Zürich  
Prof. Dr. Peter Müller, D-INFK, Programmiermethodik, ETH Zürich  
Prof. Dr. Adrian Perrig, D-INFK, System- und Netzwerksicherheit, ETH Zürich  
Prof. Dr. Matthew Smith, Institute of Computer Science, Usable Security and Privacy, Universität Bonn

Social-Media-Plattformen, Nachrichtendienste, Zahlungsverkehr, Websuche oder E-Mail-Verkehr: Die digitale Technologie hat unser Leben längst durchdrungen. Sie birgt aber auch Gefahren. Denn bei Begegnungen im digitalen Raum ist es schwierig, die Identität oder die Echtheit des Gegenübers – sei es ein Chatpartner oder eine Bank – zu überprüfen.

Das Ziel des von der Werner Siemens-Stiftung unterstützten Zentrums für digitales Vertrauen an der ETH Zürich und an der Universität Bonn ist es, die digitale Sicherheit für Anwenderinnen und Anwender zu verbessern. «Dazu bearbeiten wir ein breites Spektrum an Projekten, denn es gibt vielfältige Möglichkeiten, im digitalen Raum für mehr Sicherheit zu sorgen», sagt Adrian Perrig, der das Projekt gemeinsam mit seinen ETH-Kollegen Peter Müller und David Basin sowie mit Matthew Smith von der Universität Bonn leitet.

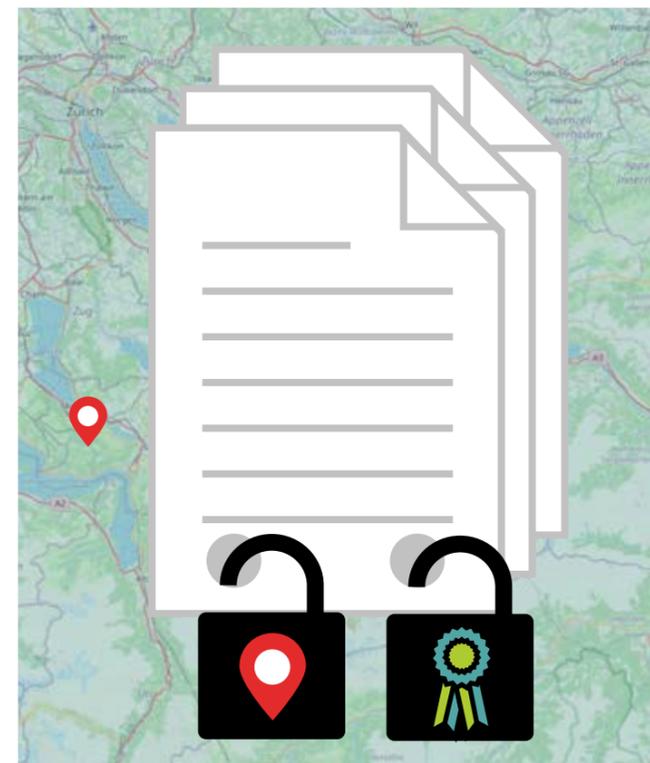
Perrigs Forschungsgruppe für System- und Netzwerksicherheit hat im vergangenen Jahr Fortschritte an verschie-

denen Fronten erzielt. So entwickelte sie eine Lösung, um das Verschlüsselungs-Protokoll der US-Stiftung Signal zu verbessern. Das Signal-Protokoll kommt nicht nur beim gleichnamigen Messenger zum Einsatz, sondern auch bei WhatsApp oder beim RCS-Chatdienst von Google. Es verschlüsselt jede Nachricht.

### Digitale Weiterempfehlung

Doch trotz dieser sogenannten opportunistischen End-zu-End-Verschlüsselung: Ohne Überprüfung der Sicherheitsnummer, die an die Identität beider Nutzer gebunden ist, gibt es keine Garantie, mit wem ein Nutzer kommuniziert. Es könnte zum Beispiel sein, dass ein Hacker die jeweiligen Mitteilungen abfängt, nach Belieben einsieht – und vor dem Weiterleiten gar manipuliert. Solche Man-in-the-Middle-Angriffe sind heute technisch ausführbar, beispielsweise auch bei öffentlichen WLAN-Netzen.

Die Forschenden haben nun ein Sicherheitssystem entwickelt, das sich an die Idee eines Empfehlungsschrei-



bens oder einer Referenz anlehnt: Hat Person A die Nummer von Person B überprüft und bestätigt, kann sie diese an Person C weitergeben. «Mit der von uns entwickelten Funktion könnte nun also jedermann von ihm geprüfte Nummern seinen Freunden weiterempfehlen», sagt Adrian Perrig. «Das erhöht die Sicherheit und das Vertrauen.» Die Forschenden versuchen nun, die Entwickler von Signal davon zu überzeugen, die Funktion in das von der Stiftung verteilte Verschlüsselungs-Protokoll zu integrieren.

Eine zweite Neuentwicklung betrifft die Verschlüsselungszertifikate für Websites. Heute werden solche Zertifikate von dutzenden unterschiedlichen Organisationen auf der ganzen Welt ausgestellt. «Wenn wir beispielsweise auf Websites aus den USA oder China zugreifen wollen, haben wir keine andere Wahl, als den dortigen Ausstellern zu vertrauen», sagt Adrian Perrig. Wer nur Zertifikat-Ausstellern aus Deutschland oder aus der Schweiz vertraut, kann die allermeisten Websites gar nicht besuchen.

Perrigs Gruppe hat nun ein System entwickelt, das diese Restriktion vermeidet und gleichzeitig mehr Sicherheit bietet. Es beruht auf einem stufenweisen Vertrauens-Modell. «Als Schweizer vertraue ich vielleicht europäischen Zertifikats-Ausstellern am meisten. Ausstellern aus den USA vertraue ich etwas weniger, und so weiter», sagt Perrig.

### Geografische Daten integrieren

Das kombinieren die Forschenden mit einem sogenannten Abwesenheitsbeweis. «Ich akzeptiere also beispielsweise eine von einem US-Unternehmen zertifizierte Website – aber nur, wenn es beweist, dass für die Site kein europäisches Zertifikat existiert. Und so weiter», erklärt Perrig. «Wenn also Hacker aus Nordkorea eine Website als jene eines Schweizer Unternehmens ausgeben, wird sie abgelehnt.» Eine Attacke könnte daher nur noch aus Europa kommen, was für hiesige Behörden viel einfacher zu verfolgen wäre.

Noch sicherer werden digitale Zertifikate, wenn man sie mit Daten aus

der physischen Welt verknüpft. Genau das haben die Forschenden in einem weiteren Projekt getan. Sie ergänzten Verschlüsselungszertifikate mit geografischen Daten aus OpenStreetMap oder Google Maps. Diese Adressen von Firmen oder Organisationen erhöhen das Vertrauen in digitale Angebote oder Vorgänge.

«Wenn ich mich zum Beispiel am Flughafen Zürich in ein WLAN einloggen will, kann ich überprüfen, ob dieses Netz wirklich vom Flughafen stammt», erklärt Perrig. «Und wenn ich als Tourist an einem Bankomaten irgendwo in Vietnam Geld beziehen möchte, kann ich auf diese Weise sichergehen, dass an diesem Ort wirklich ein Bankomat eingetragen ist.»

Solche neuartigen Sicherheitssysteme werden sich in Zukunft vielleicht sogar miteinander verknüpfen lassen. Das würde den Umgang im digitalen Raum endlich sicherer machen.



So soll es funktionieren: Mit dem künstlichen Muskel (schwarz) lässt sich die Harnröhre zusammenpressen und auseinanderziehen.

# Kunstmuskel gegen Blasenschwäche

Das Team am Zentrum für künstliche Muskeln in Neuenburg hat im vergangenen Jahr einen Schwerpunkt auf sein Harntrakt-Projekt gelegt. Die Idee der Forschenden ist es, mit einem künstlichen Muskel die Harnröhre zu schliessen, um inkontinente Patienten zu entlasten. Die ersten Entwicklungen sind vielversprechend.

Der menschliche Körper verfügt über ungefähr 650 Muskeln. Zusammen machen sie – je nach Alter, Geschlecht und Fitnesszustand – zwischen einem Viertel und mehr als der Hälfte der Körpermasse aus. Entsprechend viele Muskelkrankheiten und -verletzungen existieren – und nicht in allen Fällen ist es möglich, die körpereigenen Muskeln zu heilen.

Am Zentrum für künstliche Muskeln (CAM) am Standort Neuenburg der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) forscht ein Team um Direktor Yves Perriard und Geschäftsführer Yoan Civet an Alternativen: an neuartigen, enorm elastischen Materialien, die sie mit Elektroden bestücken und so mittels Batterien dehnen und kontrahieren können – genau wie echte Muskeln. Das Team arbeitet daran, mit solch künstlichen Muskeln die Pumpleistung der Aorta von Patienten mit Herzschwäche zu verbessern und Menschen mit einer Gesichtslähmung zu helfen.

## Verbreitetes Gesundheitsproblem

Eine dritte Idee ist die Entwicklung eines künstlichen Harnröhren-Schliessmuskels. Harninkontinenz oder Blasenschwäche betrifft laut Schätzungen weltweit mehr als 400 Millionen Menschen – Frauen ungefähr zweieinhalb Mal so oft wie Männer. Die Therapien hängen von der Ursache und vom Schweregrad ab, sie reichen von Entspannungstechniken und Muskeltraining über saugfähige Einlagen bis zu chirurgischen Eingriffen.

In schweren Fällen erhalten Betroffene einen künstlichen Harnröhren-Schliessmuskel – eine Art Manschette, die um die Harnröhre gelegt und manuell kontrolliert wird, um die Blase zu entleeren. Solche Geräte werden bis heute vornehmlich Männern implantiert. Sie sind zwar oft erfolgreich, haben aber diverse Nebenwirkungen – und in ungefähr einem Viertel aller Fälle ist ein erneuter Eingriff nötig. Yves Perriard und Yoan Civet sind überzeugt, dass sich mithilfe ihrer hochelastischen, elektrisch kontrollierbaren Materialien vorteilhafte Alternativen entwickeln lassen.

In einem ersten Schritt haben sie diverse Tests an Schweine-Harnröhren

unternommen, um die mechanischen Eigenschaften dieses Organs besser zu verstehen, und suchten in der Literatur Angaben zu den Eigenschaften der menschlichen Harnröhre. «Aufgrund dieser Daten untersuchten wir verschiedene Materialien, die sich eignen könnten, um die Harnröhre zu imitieren und daran unseren künstlichen Schliessmuskel zu testen», sagt Yoan Civet. «Denn», ergänzt Yves Perriard, «die Harnröhre ist ein extrem anfälliges Gewebe. Drückt der künstliche Muskel sie zu stark zusammen, sterben rasch Zellen ab.»

## Plan B für Einsatz bei Frauen

Die Forschenden fanden ein Silikon- und ein Hydrogelmaterial, die sich mechanisch ganz ähnlich verhielten wie das menschliche Harnröhren-Gewebe. «Wir werden diese beiden Materialien weiter untersuchen und anpassen», erzählt Yoan Civet. Denn die menschliche Harnröhre verhält sich unter Belastung nicht linear, sondern beginnt sich ab einem bestimmten Druck plötzlich zu versteifen. «Vielleicht müssen wir unsere Materialien mit bestimmten Fasern versetzen, um diesen Versteifungsprozess zu imitieren», sagt Civet.

Der zweite Forschungsstrang ist die Herstellung des künstlichen Schliessmuskels aus den hochelastischen Materialien, den sogenannten dielektrischen Elastomer-Aktoren. Auch hier haben die Forschenden erste Erfolge vorzuweisen. Es gelang ihnen, vier Zentimeter lange «Kunstmuskel»-Röhrchen herzustellen, deren Durchmesser sich über das Elektrodensystem vergrössern lässt. «Die Resultate sind vielversprechend», sagt Yves Perriard.

Trotzdem verfolgen die Forschenden auch einen Plan B. Denn eines ihrer wichtigsten Ziele ist es, dass ihr künstlicher Schliessmuskel auch bei Frauen zum Einsatz kommt. Die Harnröhre von Frauen aber ist viel kürzer als jene von Männern – so kurz, dass nicht sicher ist, ob die dielektrischen Elastomer-Aktoren genügend Auflagefläche haben werden, um den nötigen Druck zu erzeugen. Die Forschenden arbeiten deshalb auch mit einem Metall-Ring, den sie um die Harnröhre legen und auf dem sie die künstlichen Muskeln

anbringen könnten. Durch die Bewegung der Aktoren öffnet oder schliesst sich der Ring, ganz ähnlich wie die Blende einer Kamera.

Man darf gespannt sein, wie sich das Projekt entwickelt – und welche Pfeile die Neuenburger Forschenden noch in ihrem Köcher haben.



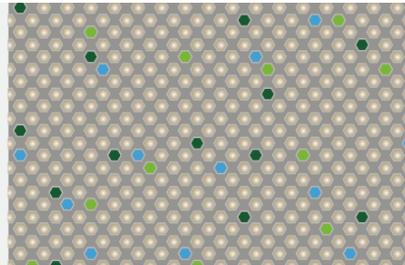
## Künstliche Muskeln

Herzschwäche, Gesichtslähmungen, Inkontinenz: Diese drei muskulären Probleme gehen die Forschenden des Zentrums für künstliche Muskeln an der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) am Standort Neuenburg mit einem hoch innovativen Ansatz an: Sie entwickeln künstliche Muskeln aus neuartigen, enorm elastischen Materialien, die mit Elektroden versehen sind. Über Batterien, die der Patient oder die Patientin auf sich trägt, lassen sich diese Gewebe durch das Anlegen einer elektrischen Spannung dehnen und kontrahieren – wie echte Muskeln.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
12 Mio. Schweizer Franken  
**Projektdauer** 2018–2029  
**Projektleitung** Prof. Dr. Yves Perriard, Direktor des Zentrums für künstliche Muskeln und des Integrated Actuators Laboratory (LAI), EPFL, Schweiz

# Das Innenleben des Betons

Das Team um Bauingenieur Ueli Angst hat Prozesse untersucht, die bei der Korrosion von Stahlbeton auf der Porenskala ablaufen. Nun wird es das Korrosionsgeschehen in immer grösseren Zusammenhängen untersuchen – und Wissen und Werkzeuge entwickeln, um einen umweltfreundlichen Korrosionsschutz bei Stahlbetonbauten zu ermöglichen.



## Klimafreundlicher Stahlbeton

ETH-Professor Ueli Angst untersucht die komplexen Korrosionsprozesse in Stahlbeton unter verschiedenen klimatischen Bedingungen. Als Erstes analysiert sein Team die Korrosionsvorgänge auf der molekularen Ebene. Später werden die gewonnenen Erkenntnisse auf der mittleren und schliesslich auf der Meter-Skala überprüft. Ziel ist das Bereitstellen von Wissen, Testmethoden und Modellen, die den Korrosionsschutz auch bei klimafreundlichen Betonbauten sicherstellen. Damit wird es der Baubranche möglich, vermehrt klimafreundliche Betonarten zu verbauen und zum Klimaschutz beizutragen.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
10 Mio. Schweizer Franken  
Projektdauer 2025–2034  
Projektleitung Prof. Dr. Ueli Angst,  
Departement Bau, Umwelt  
und Geomatik, ETH Zürich

Das Team von ETH-Professor Ueli Angst untersucht die Korrosionsprozesse in Stahlbeton als Erstes im Nano- und Mikrometerbereich. Im Auge haben die Forschenden dabei den wichtigsten Auslöser von Korrosion: die Feuchtigkeit, die beispielsweise durch Regen oder Spritzwasser in den Beton gelangt und im schlimmsten Fall den eingebetteten Bewehrungsstahl zum Rosten bringt.

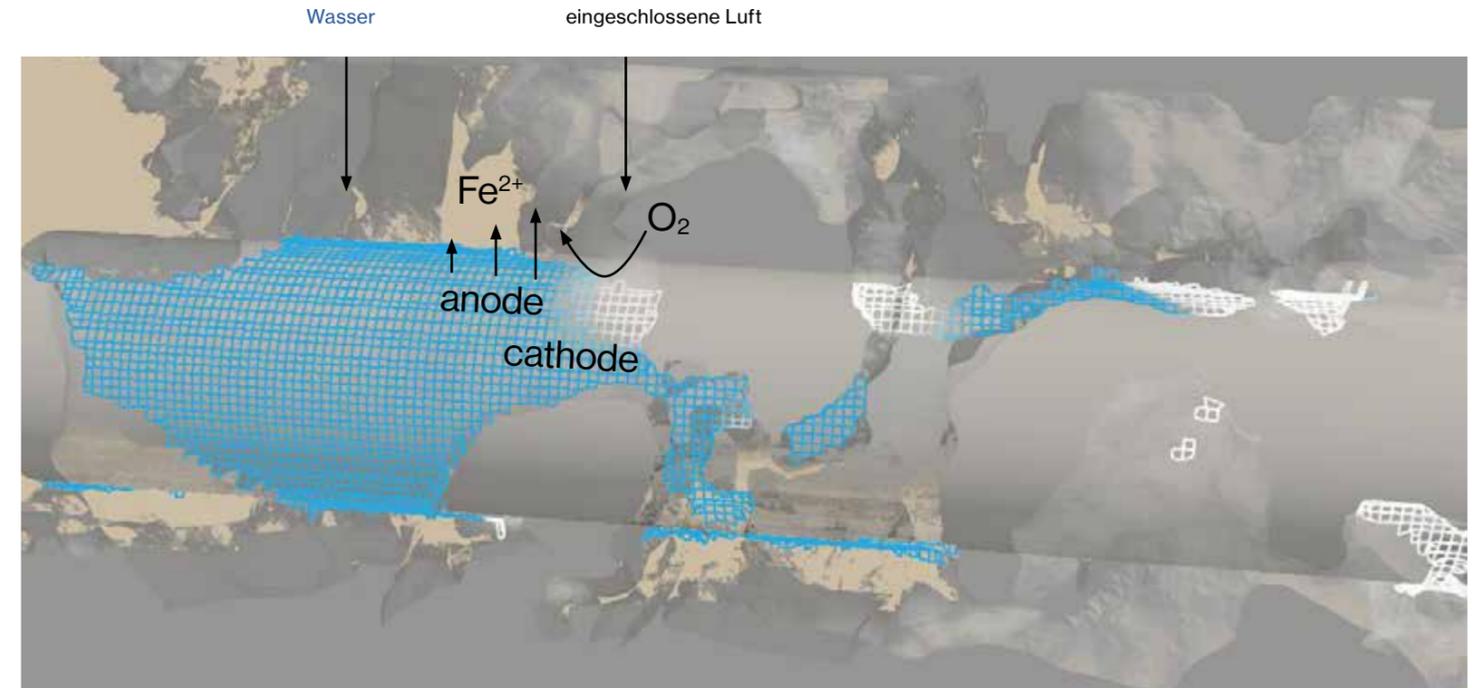
Das ins Porensystem des Betons eintretende Wasser ist nie rein, und die darin gelösten Gase wie  $\text{CO}_2$  reagieren mit den Stoffen, die im Beton vorhanden sind, zum Beispiel Kalzium oder Silikate.

Die Rolle der Silikate bei der Korrosion hat das Team im letzten Jahr untersucht. Es stellte sich heraus: Je höher die Konzentration von gelöstem Silizium, desto langsamer läuft ein Transformationsprozess zwischen zwei Eisenkorrosionsprodukten ab. Dabei wird das Korrosionsprodukt mit dem grösseren spezifischen Volumen für eine längere Zeit stabilisiert. «Das ist ein erster relevanter Befund», sagt Angst. Denn wenn diese Umwandlung

von «sperrigen» zu «kleineren» Korrosionsprodukten lange dauert, hat das einen Einfluss auf die Rissbildung im Beton. Ausfällungen auf kleinem Raum führen schneller zu Spannungen im Beton und irgendwann zu Rissen.

### Aufbau von Know-how

Die Experimente zum Korrosionsgeschehen werden meist von Doktorandinnen und Doktoranden durchgeführt – in den Laboren der ETH Zürich, des Paul Scherrer Instituts, der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) oder anderer Hochschulen in Europa und Nordamerika. Für das Silikat-Experiment zum Beispiel war Doktorand Fabio Furcas zuständig; er wechselt nun, nach Abschluss seiner Dissertation, an die Empa und wird dort weiter – in Zusammenarbeit mit Ueli Angst – zu verwandten Themen forschen. «Der Aufbau von Know-how, das wir für das WSS-Projekt nutzen können, läuft somit bereits», freut sich Ueli Angst über die grösser werdende Forschungs-Community in diesem Themenkreis. Seine Mitarbeitenden kommen nicht nur aus den



Zahlreiche chemische und physikalische Vorgänge in den Poren von Beton beeinflussen die Korrosion von Stahlbeton.

Materialwissenschaften, sondern auch aus der Chemie, Physik, der Elektrochemie und dem Bauingenieurwesen.

Auf den offiziellen Start des WSS-Projekts im Januar 2025 sucht Ueli Angst weitere drei bis vier Doktorierende. «Mir ist neben der fachlichen Qualifikation auch der Teamgeist sehr wichtig», sagt Angst. «Die Neuen sollen gut in das bestehende internationale Team passen.»

Manche Doktorierende müssen Mikroskopie-Kenntnisse aufweisen, weil für die Untersuchung der Mikrostruktur des Betons eine Ionenfeinstrahlanlage (FIB-SEM) zum Einsatz kommt. Mit der FIB-SEM-Methode lässt sich die Mikrostruktur von Beton dreidimensional im Nanometerbereich aufzeigen.

Dadurch werden Prozesse wie der Transport von Feuchtigkeit durch das feine, komplexe Porensystem und das gekoppelte Korrosionsgeschehen auf der Ebene einzelner Poren nachvollziehbar. «So können wir endlich wegkommen vom mehrheitlich empirischen Durchtesten einzelner Betonarten, wie es bisher im Korro-

sionsschutz üblich war, und zu einem grundlegenden Verständnis der Korrosion gelangen», sagt Angst.

Beim FIB-SEM-Verfahren bombardiert man eine Werkstoffprobe mit einem fokussierten Ionenstrahl und trägt so kleinste Schichten des porösen Materials ab. Schicht für Schicht scannt man den Werkstoff mit einem Raster-Elektronenmikroskop. Aus den Scans lässt sich ein dreidimensionales digitales Modell rekonstruieren. «In diesem digitalen Modell kann man beispielsweise untersuchen, wie ein Wassermolekül oder ein Eisenion durch die Poren des Betons hindurchgehen», sagt Angst. Die Auflösung im Nanometerbereich ist enorm, man erkennt sogar die Auswirkungen der kapillaren Kräfte in den Poren.

### Modellieren statt durchtesten

Einen Nachteil hat das bildgebende Verfahren: Es ist äusserst aufwändig. Gut 120 Arbeitsstunden am Mikroskop braucht es, bis ein digitaler Zwilling, wie Angst das digitale Modell nennt, erstellt worden ist. Doch im digitalen Zwilling lassen sich verschiedene Szenarien

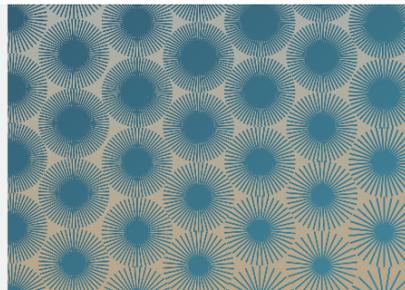
durchspielen: Man kann zum Beispiel simulieren, was bei Niederschlag, bei Sonnenschein oder bei unterschiedlichen Temperaturen im Porensystem eines Stahlbetonbauwerks abläuft.

Von zentralem Interesse ist dabei, wie die Feuchtigkeit von den kapillaren Kräften in die Porenstruktur eines Betons hineingesogen wird und sich dort ausbreitet. «Das geschieht sehr dynamisch», sagt Angst. Auch wie Beton trocknet, ist für das Verständnis der Korrosion fundamental – vor allem, wie lange Restfeuchtigkeit im Porensystem verbleibt.

In Zukunft soll der Korrosionsschutz schon bei der Planung auf die spezifischen Umstände hin optimiert werden können. Das macht auch deshalb Sinn, weil «weltweit so viele verschiedene Zemente entwickelt werden, dass man nicht mehr alle einfach durchtesten kann», so Angst. «Ausserdem sind die etablierten Testmethoden für die neuen Zemente und Betone nur bedingt geeignet, da sie Prozesse abbilden, die in vielen dieser neuen Werkstoffe anders ablaufen als in traditionellem Beton.»

# Wirkstoff-Suche auf neuem Level

Nach dem erstmaligen Nachweis, dass sich aus uraltem Zahnstein bakterielle Wirkstoffe herstellen lassen, will das Projekt Paläobiotechnologie seinen Forschungs-Output vervielfachen. Dazu haben die Forschenden Methoden und Plattformen entwickelt, um komplexe Arbeitsschritte zu automatisieren.



## Paläobiotechnologie

Ist eine Reise in die Vergangenheit die Zukunft der Medizin? Im Projekt Paläobiotechnologie gehen Biotechnologe Pierre Stallforth und Archäogenetikerin Christina Warinner das Problem der Antibiotikaresistenzen auf ungewöhnliche Weise an: Sie suchen im Zahnstein von Frühmenschen nach Stoffen, die gegen heutige resistente Bakterien wirken, und stellen sie neu her.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
10 Mio. Euro

**Projektdauer** 2020–2029

**Projektleitung** Prof. Dr. Pierre Stallforth, Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie – Hans-Knöll-Institut, Jena

Prof. Dr. Christina Warinner, Max-Planck-Institut für Evolutionäre Anthropologie, Leipzig, und Harvard University, Cambridge.

Das Projekt Paläobiotechnologie in Jena macht rasante Fortschritte. Vor zwei Jahren wiesen die Forschenden um Chemiker Pierre Stallforth und Archäogenetikerin Christina Warinner nach, dass ihre Idee funktioniert: In einer viel beachteten Studie im renommierten Fachmagazin «Science» zeigten sie erstmals auf, dass es möglich ist, aus dem Zahnstein von Frühmenschlichen Naturstoffe wieder herzustellen, die vor 100 000 Jahren von Bakterien produziert worden waren.

Mit eigens dafür entwickelten Methoden spürten sie Erbgutfragmente auf, setzten sie zusammen und rekonstruierten so die Genome zahlreicher Bakterienarten. Daraus wiederum rekonstruierten sie einen Bauplan für Enzyme, die Naturstoffe produzieren. Sie bauten diese Gene in lebende Bakterien ein – und tatsächlich bildeten diese bisher unbekannte Wirkstoffe.

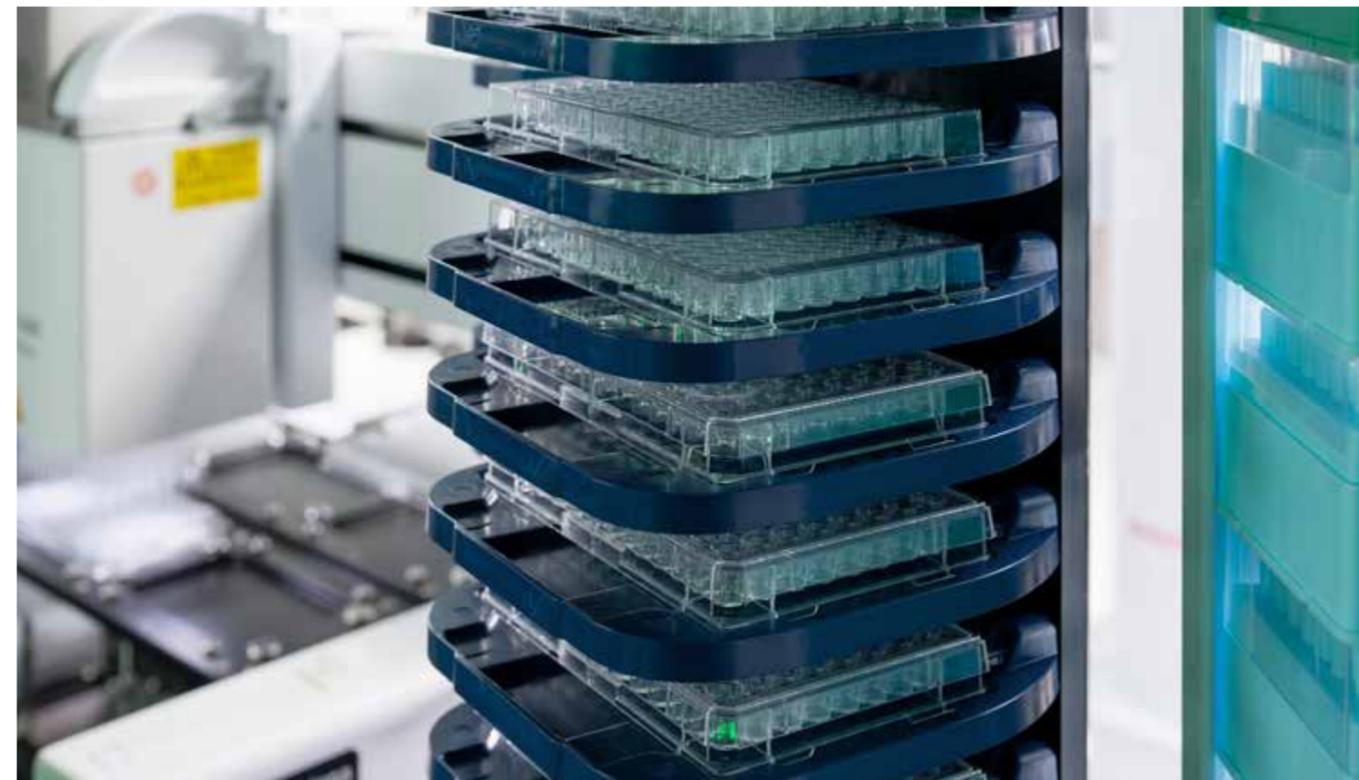
«Wenn Leute hören, dass wir mit altem Erbgut arbeiten, denken sie oft, dass wir nicht genug davon finden», sagt Christina Warinner. «Aber das ist

nicht wahr. Im Gegenteil: Wir haben enorm viele Daten – so viele, dass wir niemals alle testen können.» Um so viele wie möglich untersuchen und die besten Kandidaten finden zu können, ist es entscheidend, die komplexen Arbeitsschritte bei der Suche und der Herstellung solcher prähistorischer Stoffe zu automatisieren.

### Drei Automatisierungsschritte

Genau darauf haben die Forschenden im vergangenen Jahr ihren Fokus gelegt. Grob gesagt, handelt es sich um drei Automatisierungsschritte: Der erste ist es, das Erbgut aus den Proben zu extrahieren und zu sequenzieren. «Die meisten dieser Arbeiten werden bereits von Robotern durchgeführt», erzählt Warinner. «Das hat unseren Durchsatz erhöht und zu einer Vereinheitlichung geführt.»

Im zweiten Schritt, ergänzt Pierre Stallforth, gehe es darum, möglichst viel aus diesen Daten herauszuholen. Die Forschenden haben diverse Software-Tools und Pipelines zur Auto-



Stapelweise Proben: Die Forschenden in Jena arbeiten an Methoden, um ihre prähistorischen Daten rascher zu testen.

matisierung der Datenanalyse entwickelt. Diese Programme identifizieren beispielsweise DNA-Sequenzen, welche die Informationen zur Herstellung antimikrobieller Stoffe kodieren könnten.

Als dritten Schritt schliesslich hat das Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie in Jena eine weltweit einzigartige Automatisierungsplattform aufgebaut, um aus den neu gefundenen Sequenzen Moleküle zu erstellen und diese standardisiert und mit hohem Durchsatz zu testen – zum Beispiel bezüglich ihrer antibiotischen oder antimykotischen Wirkung.

«Wir haben verschiedene Fachgebiete – vom Programmierer bis zur Chemikerin – zusammengebracht, um die bestmöglichen Tools zu entwickeln», sagt Warinner. Was sind die wichtigsten Merkmale von Naturstoff-Kandidaten? Wie lassen sich systematische Wege finden, um vielversprechende Sequenzen herauszufiltern? Welche biologischen Merkmale sind besonders interessant? Wie

stimmt man die verschiedenen Automatisierungsschritte aufeinander ab?

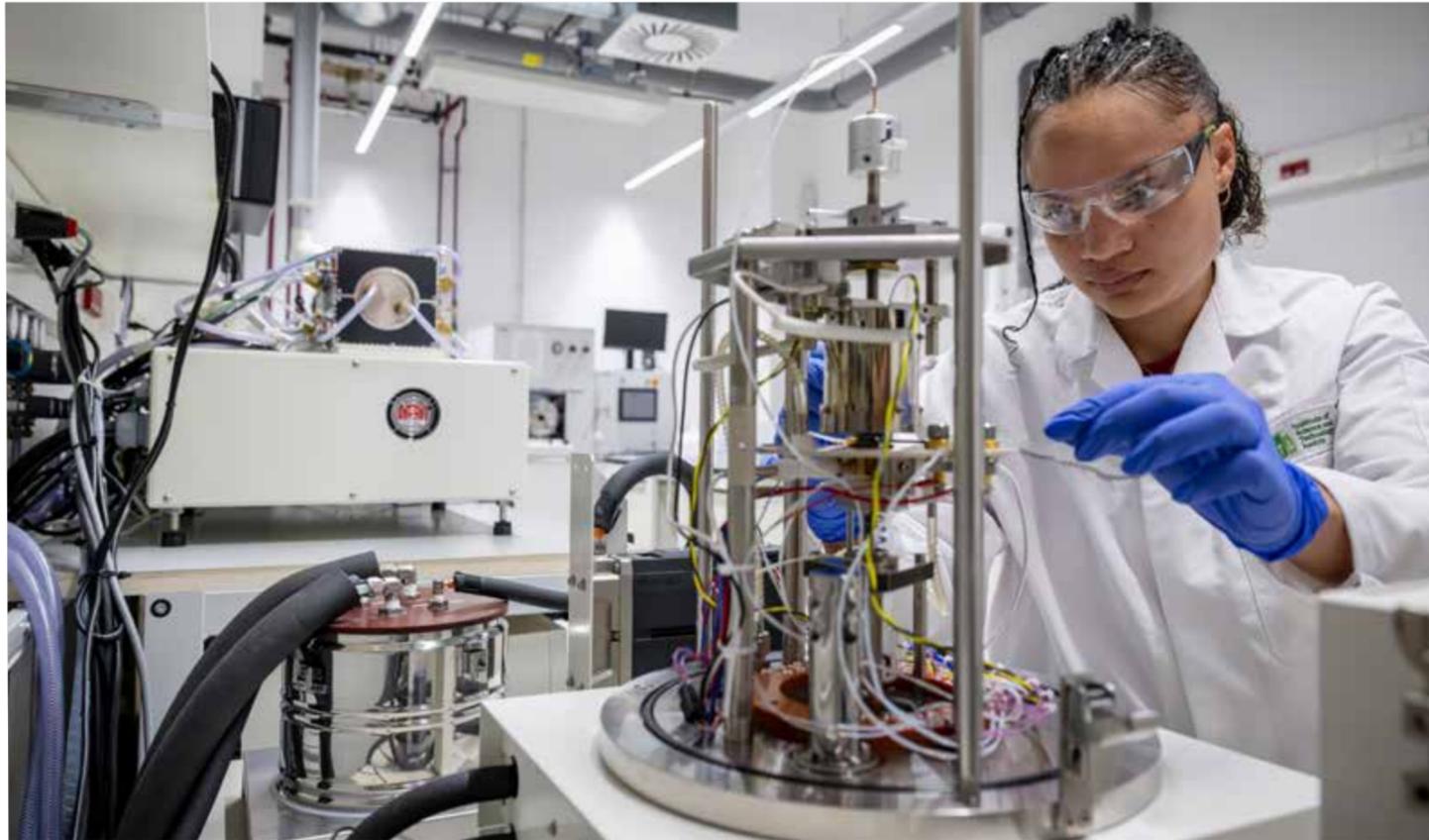
«Solche Fragen zu beantworten und solche Tools aufzubauen, braucht viel Zeit», sagt Pierre Stallforth. «Aber wenn es einmal reibungslos funktioniert, werden wir in der Lage sein, mithilfe einer verlässlichen Plattform enorm viel aus unseren Daten herauszuholen.» Dafür sei die langfristige Unterstützung der Werner Siemens-Stiftung Gold wert. «Viele andere Förderinstrumente laufen bloss über zwei oder drei Jahre – in dieser Zeit ist es unmöglich, solche grundlegenden Plattformen zu entwickeln.»

### Zahnsteinproben aus aller Welt

Daneben ging die Arbeit mit archäologischen Zahnstein-Proben weiter. So haben die Forschenden Daten einer ganzen Reihe neuer Neandertaler-Skelette aufgenommen und ihre archäologische Erbgut-Sammlung deutlich ausgeweitet. «Anfangs stammten die meisten unserer Proben aus Europa», sagt Christina Warinner.

«Jetzt haben wir beispielsweise neue Projekte in Asien und eine grosse Studie in Ozeanien.» Das Fernziel ist es, Daten von so vielen Individuen zu bekommen, dass die Untersuchung globaler Muster in der frühzeitlichen Zahnstein-Biodiversität möglich ist.

Auch personell gibt es gute Neuigkeiten: Christina Warinner wurde an der renommierten Harvard University zur ordentlichen Professorin mit eigenem Lehrstuhl befördert. Damit haben nun sowohl sie als auch Pierre Stallforth eine akademische Festanstellung. «Das ist grossartig», sagt Warinner. «Nun haben wir beide eine solide Grundlage, auf der wir unsere Arbeit in der Paläobiotechnologie weiter aufbauen und ausbauen können.»



Damit ein thermoelektrisches Material eine gute Leistung erzielt und die gewünschten Eigenschaften aufweist, muss jedes Detail stimmen.

# Ein wichtiger Entscheid

Maria Ibáñez und ihr Team am ISTA machen Fortschritte auf ihrer Suche nach Materialien, die Temperaturunterschiede effizient in Elektrizität umwandeln, oder umgekehrt. Und sie haben sich entschieden, Teile ihrer Hochdurchsatz-Anlage von einem spezialisierten Hersteller bauen zu lassen.

Thermoelektrische Materialien herzustellen ist komplex und aufwändig. Winzigste Veränderungen entscheiden darüber, ob ein Material die gewünschten Eigenschaften aufweist oder nicht. Wer jede neue Mischung im Labor von Hand herstellen und einzeln testen muss, kommt nicht weit. Deshalb verfolgt die Physikerin Maria Ibáñez am «Werner Siemens Thermoelectric Laboratory» am Institute of Science and Technology Austria (ISTA) in Klosterneuburg bei Wien eine andere Strategie: Sie setzt auf eine Hochdurchsatz-Infrastruktur, die hochautomatisiert viele Material-Kombinationen aufs Mal produzieren und testen kann.

Ibáñez' ursprüngliche Idee war es, dieses einzigartige Hochleistungsgerät selbst im Labor zu entwickeln und zu bauen. «Es hat sich aber herausgestellt, dass das problematisch ist», sagt sie. Die Arbeiten waren zu stark von einer einzelnen Person abhängig. So wechselte ein ursprünglich für den Bau der Hochdurchsatz-Infrastruktur eingestellter Mitarbeiter in die Privatwirtschaft. Ein Nachfolger wiederum fiel krankheitshalber lange aus. «Dadurch gingen Know-how und Zeit verloren», sagt Ibáñez.

## Spezialisierte Firma gefunden

Deshalb entschied sie sich, für einen Teil der Anlage eine externe Lösung zu suchen. Fündig wurde sie in der Schweiz bei einem Unternehmen, das auf den Bau solch hochkomplexer Anlagen spezialisiert ist. «Ich hatte diverse Gespräche mit den Verantwortlichen, wir haben gemeinsam die Plattform konzipiert – und es ist nun geplant, dass die Firma die Plattform im Verlauf des Jahres 2025 baut», sagt Ibáñez. Sie sei sehr glücklich über den Entscheid. «Es war vielleicht ein kleiner Schritt zurück, aber ich bin überzeugt, dass das Projekt nun in die richtige Richtung geht.»

Gleichzeitig haben Maria Ibáñez und ihr Team in den vergangenen Monaten wichtige Fortschritte bei der Erforschung und Herstellung von thermoelektrischen Materialien gemacht. In einer Studie gelang es ihnen beispielsweise aufzuzeigen, welche Herstellungsschritte zu Unterschieden in der Reinheit und damit in der thermo-

elektrischen Leistung eines Materials führen. «Dieses Wissen ist wichtig», sagt Maria Ibáñez. «Zum einen tapen wir sonst im Dunkeln, wenn wir im Hochdurchsatz-Gerät verschiedene Parameter untersuchen. Zum anderen werden in vielen wissenschaftlichen Publikationen manche dieser Schritte nicht genügend genau beschrieben, was dazu führt, dass Resultate nicht reproduzierbar sind.»

## Pellets aus 3D-Drucker

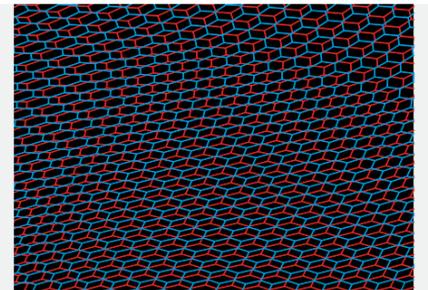
In einer anderen wichtigen Veröffentlichung zeigen die Forschenden am Beispiel von Silber-Selenid ( $\text{Ag}_2\text{Se}$ ) einen Herstellungsweg auf, mit dem sich die Mikrostruktur eines zusammengesetzten Materials genau kontrollieren lässt. Die Synthesestrategie besteht aus drei Schritten: Die Herstellung von Silber-Selenid-Partikeln in einer Lösung; die Reinigung und Trocknung der Partikel und schliesslich das Verfestigen der entstandenen Pulver zu einer Art Pellets.

Dieser Verfestigungsprozess ist in der Hochdurchsatz-Anlage sehr zeitaufwändig: Das Thermoelektrik-Team um Maria Ibáñez hat deshalb einen 3D-Drucker so umgebaut, dass sich damit die Pellets drucken lassen, welche dann in einem nächsten Schritt auf ihre thermoelektrischen Eigenschaften untersucht werden. «3D-Druck ist enorm schnell und wir sparen damit auch Material und Energie», sagt Maria Ibáñez. «Wir produzieren derzeit mit diesem Ansatz Materialien, die Rekordleistungen bei Raumtemperatur erzielen.»

## Einfacher und weniger anfällig

Diese neue Entwicklung hat auch Auswirkungen auf den Bau der Hochdurchsatz-Infrastruktur. Ursprünglich war geplant, die Pulver in eine Art Tinten umzuwandeln, die sich auf Folien spraysen lassen. «Aber es braucht viel Zeit, um für jedes Material die richtigen Bedingungen für die Herstellung guter Schichten zu finden, welche die Charakterisierung von Materialeigenschaften erlauben», sagt Maria Ibáñez. Deshalb entwickelte das Thermoelektrik-Team nun stattdessen Tinten für den 3D-Druck. «Zudem ist die Untersuchung der Pellets einfacher und weniger fehleranfällig.»

Die Voraussetzungen stehen also gut, dass Maria Ibáñez' Forschungsgruppe in Zukunft haufenweise vielversprechende Materialien produzieren und untersuchen kann, welche der Stromgewinnung und Temperaturkontrolle ganz neue Impulse verleihen werden.



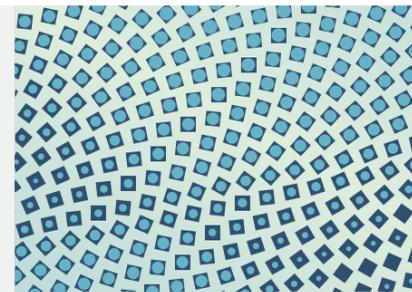
## Thermoelektrische Materialien

Ob im Computer, im Kühlschrank, an einem Fenster oder auf dem menschlichen Körper: Überall wo Temperaturunterschiede bestehen, lässt sich daraus theoretisch Strom gewinnen. Bis heute ist die Methode aber ineffizient und teuer. Die Physikerin Maria Ibáñez will das mit ihrer Forschungsgruppe am «Werner Siemens Thermoelectric Laboratory» am Institute of Science and Technology Austria (ISTA) ändern. Sie sucht nach neuen Materialien, die dank genau definierter Nanostrukturen die gewünschten Eigenschaften aufweisen.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
8 Mio. Euro  
**Projektdauer** 2020–2028  
**Projektleitung** Prof. Dr. Maria Ibáñez,  
Institute of Science and Technology  
Austria (ISTA)

# Den Erfolg im Blut

Ob als Spitzensportler, Molekularbiologe oder Firmengründer: Kevin Yim ist rasant unterwegs. 2024 gründete er dank eines MedTechEntrepreneur-Fellowship der Universität Zürich das Start-up EVIIVE. Es entwickelt effiziente Diagnose- und Prognose-Verfahren bei Blutvergiftung und Hautkrebs.



## Von der Forschung zur Firmengründung

Die Universität Zürich unterstützt mit den UZH Entrepreneur-Fellowships talentierte Nachwuchsforschende, die ein Unternehmen gründen wollen, das auf Forschungserkenntnissen basiert. Dank der Unterstützung der Werner Siemens-Stiftung werden seit 2018 auch Projekte in der Medizintechnik gefördert. Seit Beginn des Programms haben insgesamt 26 Nachwuchsforschende ein MedTechEntrepreneur-Fellowship der UZH erhalten. Bereits sind neun Jungunternehmen daraus entstanden.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
10,67 Mio. Schweizer Franken  
**Projektdauer** 2018–2027  
**Projektleitung** Prof. Dr. Elisabeth Stark,  
Prorektorin Forschung, Universität Zürich

Bevor Kevin Yim Forscher und Firmengründer in Zürich wurde, fuhr er erfolgreich Velorennen für sein Heimatland Hongkong. Mit 22 Jahren schaffte er es in die Top 20 im asiatischen Raum – und merkte, dass er nicht mehr besser werden konnte. Was nicht weiter tragisch war, denn er hatte im Lauf seines Biologiestudiums an der University of Exeter in England eine neue Leidenschaft entdeckt: die Molekularbiologie, genauer: Extrazelluläre Vesikel (EV). Das sind vereinfacht gesagt die «Wörter», mit denen Körperzellen untereinander kommunizieren. Oder wissenschaftlicher formuliert: EV sind nanometerkleine Membranpartikel, die von gesunden und krankhaft veränderten Körperzellen in hoher Zahl freigesetzt werden und ein komplexes Set an Informationen an andere Zellen übermitteln.

Yim war fasziniert. Er schrieb sowohl die Master-Arbeit zu EV als auch seine Doktorarbeit. Dazu wechselte er ans Institut für Experimentelle Immunologie der Universität Zürich (UZH). Dort entwickelte er ein neuartiges Testverfahren bei Hautkrebs und Blut-

vergiftung (Sepsis) auf der Basis von EV-Analysen. Sein Verfahren kommt mit nur einem Tropfen Blut aus und liefert das Resultat innerhalb von zwei Stunden – viel schneller als herkömmliche Bluttests, die ausserdem eine venöse Blutentnahme benötigen.

### Resilient und zäh

Auf die Frage, was ihm bei seinem erfolgreichen und rasanten Wechsel in die Wissenschaft geholfen habe, antwortet er: «Ich bin ziemlich resilient und zäh.» Im Radsport habe er gelernt, dass die eigene Leistung nicht jedes Mal zu einem Sieg führe. «Ich erlebe wie alle Wissenschaftler immer wieder Niederlagen, doch dann stehe ich auf und mache einfach weiter.»

Eine erste grosse Hürde tauchte gleich zu Beginn seiner Doktorarbeit auf. Ursprünglich wollte er einen EV-Test für Infektionen bei Neugeborenen entwickeln, doch es liessen sich keine entsprechenden Blutproben organisieren, mit denen er hätte arbeiten können. So wechselte er ans Cancer Immunobiology Lab von UZH-Professor Richard Chahwan. Dort konnte er



Vom Radrennfahrer zum Firmengründer: Kevin Yim hat Bluttests entwickelt, die bei verschiedenen Krankheiten nützlich sein können.

sein EV-basiertes Diagnoseverfahren an Zellproben von erwachsenen Hautkrebs-Patienten testen. Und schliesslich auch in einer Sepsis-Studie am Universitätsspital Zürich (USZ).

Die am USZ untersuchten Patientinnen und Patienten litten an einer Infektion, deren Ursache bei Spitaleintritt unbekannt war. Yims Diagnoseverfahren schnitt in der Sepsis-Studie sehr gut ab: «In 93 Prozent der Fälle erkannte unser Verfahren richtig, dass die untersuchte Person eine septische Lungenentzündung entwickeln würde.»

### Ins wahre Leben, in die Praxis

Nach dem Doktorat drängte es Yim «ins wahre Leben», wie er mit einem Augenzwinkern sagt. Er wollte sein innovatives Verfahren der Gesellschaft zugänglich machen und bewarb sich für ein MedTechEntrepreneur-Fellowship der UZH. Dieses mit 100 000 Schweizer Franken dotierte Stipendium wird von der Werner Siemens-Stiftung finanziert und vermittelt Forschenden das Wichtigste, was es zur Gründung eines eigenen Unternehmens braucht.

Mittlerweile hat Yim sein Verfahren nicht nur zu einem Diagnose-Kit für Sepsis entwickelt, sondern auch zu einem Prognose-Verfahren, das den Erfolg der Standardtherapie bei Melanomen vorhersagt. «Bei Hautkrebs können die Ärzte mit unserem Kit vor der Behandlung herausfinden, ob ein Patient auf die Standardtherapie ansprechen wird oder nicht», erklärt Yim. Auch lässt sich damit der Therapieerfolg unkompliziert überwachen. «Bei Bedarf kann man mit unserem Verfahren jeden Tag nachschauen, ob die Therapie wirkt oder ob der Hautkrebs zurückkommt.»

Im Oktober 2024 hat Kevin Yim zusammen mit Professor Richard Chahwan und anderen das Start-up EVIIVE gegründet. Die kommenden fünfzehn Monate sind bereits finanziell abgesichert. Zeit für etwas Entspannung? «Ich entspanne eigentlich nie», sagt er lachend. Bereits beschäftigt ihn die nächste Finanzierungsrunde: EVIIVE muss noch mehr klinische Tests vorlegen, um Risikokapitalisten davon zu überzeugen, in das Start-up zu investieren.

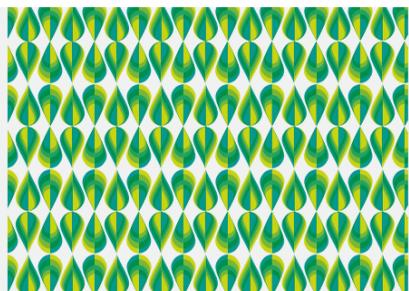
In schätzungsweise eineinhalb Jahren sollten die Diagnose- und Prognose-Kits von EVIIVE dann reif für den Markt sein. Und den Markt stellt sich der zukünftige CEO durchaus gross vor: «Zu Beginn ein Melanom-Testzentrum in der Schweiz, dann eines in den USA und eines in Australien.»

### Wichtigste Partner

Eine eigene Firma zu gründen, ist spannend und anspruchsvoll. Wer war für Yim die wichtigste Person auf diesem hindernisreichen Weg? «Meine Frau», sagt er und fügt an, dass natürlich auch Mentoren, Professoren, Business Partner und andere Arten von Support sehr wichtig und hilfreich seien. Doch weil man als Jungunternehmer ja an sehr viele Türen klopfen und meist zu hören bekommen: kein Interesse, zu früh, passt nicht, müsse man immer wieder von neuem Anlauf nehmen. «Ohne unterstützende Partnerin geht das nicht.»

# Was wirkt in der Klimapolitik?

Das Projekt CERES ist rasant gestartet. Die Forschenden haben bereits diverse Fachartikel vorbereitet oder publiziert. Eine der Studien erschien im renommierten Magazin «Science» und zeigt auf, welche Klimamassnahmen besonders gut wirken.



## FutureLab CERES

Das FutureLab CERES am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) analysiert, welche politischen Instrumente zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen beitragen können. Im Fokus stehen Staaten wie Brasilien, Indonesien oder Kongo, die massiv von Klimaschäden bedroht sind, über eine hohe Biodiversität verfügen – und hohe wirtschaftliche Gewinne aus fossilen oder natürlichen Ressourcen erzielen.

**Mittel der Werner Siemens-Stiftung**  
10 Mio. Euro  
**Projektdauer** 2022–2031  
**Projektleitung** Prof. Dr. Ottmar Edenhofer, Co-Direktor und Chefökonom, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Potsdam bei Berlin

Das seit 2022 von der Werner Siemens-Stiftung unterstützte Projekt CERES analysiert, welche politischen Instrumente zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung von globalen Gemeingütern beitragen können. Mit welchen politischen Massnahmen lassen sich Klima, Biodiversität, Ozeane oder Böden wirksam schützen? Was hält Entscheidungsträger davon ab, sie zu ergreifen?

CERES gliedert seine Forschung in vier Arbeitspakete, die allesamt bereits nach kurzer Zeit grosse Fortschritte machen. Forschende um Nicolas Koch vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) und vom Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change (MCC) in Berlin aus dem Arbeitsbereich «Machine learning-basierte ex-post Politik-evaluierung» haben im vergangenen Herbst gar eine Studie im Fachmagazin «Science» veröffentlicht, die weltweit für Aufsehen sorgte.

Sie verglichen 1500 Klimamassnahmen der letzten 25 Jahre aus 41 Ländern und sechs Kontinenten und un-

tersuchten sie auf ihre Wirksamkeit. Sie stützten sich dank einer Kooperation auf damals noch unpublizierte Daten der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) und unterschieden Massnahmen in den Sektoren Gebäude, Strom, Industrie und Verkehr.

### Wenige wirksame Massnahmen

«Wir suchten nach Erfolgsfällen, mit denen die Staaten die Emissionen in einem Bereich um mindestens fünf Prozent verringern konnten», erklärt Nicolas Koch. Es stellte sich heraus, dass es in den letzten zwei Jahrzehnten nur 63 Fälle mit Emissionsreduktionen in einem solchen Ausmass gab. Die geringe Zahl zeigt laut Koch, dass Klimaschutzmassnahmen oft ohne ausreichende wissenschaftliche Evidenz ausprobiert wurden oder ausprobiert werden mussten.

Die gute Nachricht ist, dass die Erfolgsfälle enorm grosse Wirkungen erzielen konnten. Im Durchschnitt, so zeigte die genaue Analyse, senkten die



Zur Modellierung und Auswertung steht den CERES-Forschenden ein Rechenzentrum zur Verfügung.

erfolgreichen Massnahmenpakete der Politik die Emissionen in ihrem Bereich nämlich um 19 Prozent. Manche, zum Beispiel ein Massnahmenmix für den Stromsektor in Grossbritannien, erreichten innert weniger Jahre eine Reduktion um 40 bis 50 Prozent.

Die Forschenden fanden interessante und wichtige Gemeinsamkeiten zwischen den 63 Erfolgsfällen: So gibt es keinen einzigen Fall, in dem ein Verbot alleine – zum Beispiel von Kohlekraftwerken oder Verbrennerautos – eine nennenswerte Wirkung erzielte. «Grössere Emissionsrückgänge fanden wir nur, wenn mehrere Massnahmen gleichzeitig eingesetzt wurden», sagt Nicolas Koch.

Für den Stromsektor in Grossbritannien legte die Regierung beispielsweise einen CO<sub>2</sub>-Mindestpreis fest und kombinierte ihn mit Förderprogrammen für erneuerbare Energien sowie einem Zeitplan, um aus der besonders klimaschädlichen Kohleverstromung auszusteigen. Die Studie zeigte zudem, abhängig vom Sektor, beträchtliche

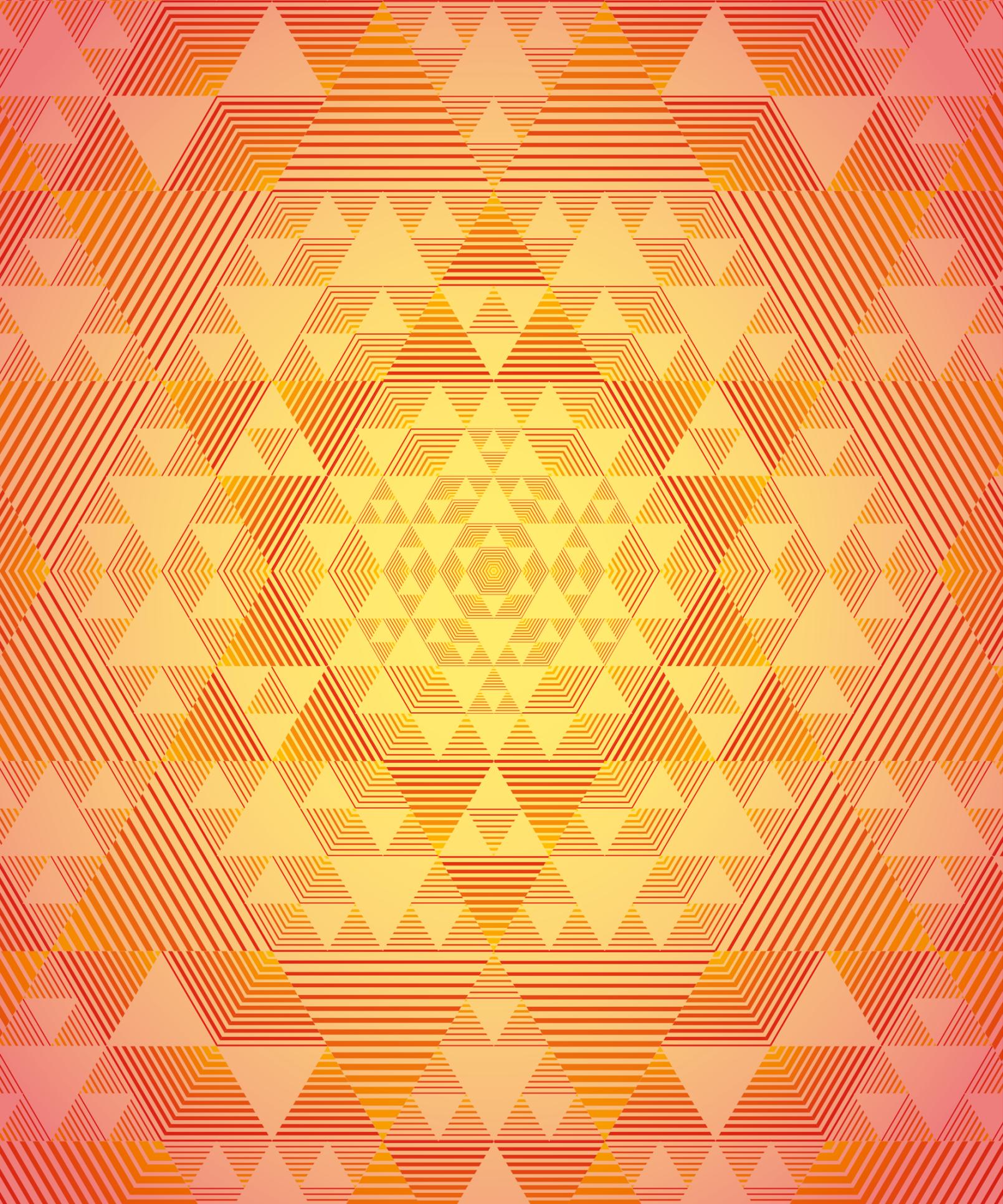
Unterschiede zwischen Industrie- und Entwicklungs- oder Schwellenländern. Im Stromsektor etwa erzeugten Preisinstrumente in Entwicklungsländern kaum Emissionsrückgänge – wahrscheinlich weil die Strommärkte in solchen Staaten ganz anders funktionieren. «In solchen Ländern fanden wir eher eine Wirkung von Subventionen und Regulierungen, zum Beispiel klare Vorgaben zum Strommix», sagt Koch.

### Diverse Studien in der Pipeline

Die Untersuchung der CERES-Forschenden ist die grösste Evaluationsstudie zu Klimamassnahmen, welche sich auf etablierte statistische Verfahren stützt. Sie schliesst einen Teil der Evidenzlücke, die Staaten bisher oft im Blindflug hat operieren lassen. Nicolas Koch und sein Team haben deshalb ein interaktives Web-Dashboard entwickelt, auf dem Mitarbeitende von Klimaschutz-Ministerien oder andere Entscheider die 63 Erfolgsfälle studieren und in ihre Konzepte und Projekte einfließen lassen können.

Die Politik und die Wirtschaft mit solch wichtigen Informationen zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Gemeingütern zu versorgen, ist ein erklärtes Ziel von CERES. Ansatzpunkte dafür gibt es zuhauf, wie die vielen weiteren Paper zeigen, welche das Forschungsteam im vergangenen Jahr vorangetrieben oder bereits publiziert hat. So ist eine Publikation eingereicht, die untersucht, welche Auswirkungen die Mehrwertsteuerreform für Nahrungsmittel der EU hatte.

Eine andere Untersuchung versucht, die existenziellen Risiken der Erderwärmung zu quantifizieren. An einem Workshop präsentierten Forschende eine Studie, die aufzeigt, wie die Darstellung des Klimawandels die Vorstellungen und Verhaltensweisen von Menschen beeinflusst. Und eine Publikation zu den Unterschieden zwischen jungen und alten Menschen bezüglich ihrer Einstellung zum Klimawandel ist auf der Zielgeraden.



Wer wir sind



Gianni Operto zieht es «bei halbwegs anständigem Wetter» nach draussen.

# «Ich will wissen, wie es funktioniert»

Wenn Gianni Operto etwas tut, dann richtig. Auch im fünfköpfigen Wissenschaftlichen Beirat der WSS, dessen Vorsitzender er die letzten zwölf Jahre war, setzte er sich mit Herzblut und Sachverstand für «seine Projekte» ein. Nun hat er den Vorsitz altersbedingt abgegeben. Ein Gespräch über seine vielfältige Karriere, die Zeit bei der WSS und seine Zukunftspläne.

Gianni Operto, Sie sind letzten März 70 Jahre alt geworden und geben, wie es die Statuten der Werner Siemens-Stiftung (WSS) vorschreiben, den Vorsitz des Wissenschaftlichen Beirats ab. Sie haben sich in Ihrem Arbeitsleben vor allem für Projekte zur nachhaltigen Energiegewinnung starkgemacht. Sind Sie zufrieden, wo wir heute bei der Energiewende stehen?

Nicht ganz. Zwar haben Solar- und Windenergie Auftrieb, und selbst konservative Kreise sind mittlerweile für die Energiewende zu haben. Doch scheitert die Energiewende in der Schweiz an der fünften Landessprache, der Einsprache. Der konsequente Ausbau der neuen erneuerbaren Energien, der NEE, wird immer wieder mit teils falschen, teils fadenscheinigen Behauptungen torpediert – Solarpanels würden reflektieren und so die Fauna stören, oder die Nutzung von Geothermie löse zwangsläufig Erdbeben aus. Was wirklich ein Problem ist, das ist der Klimawandel. Es ist wissenschaftlich erwiesen, dass er mit Abstand am stärksten für den Schwund der Biodiversität verantwortlich ist und nicht etwa Solarpanels oder Windräder. Auch die «Umweltschützer» sollten Prioritäten setzen. Wir müssen die Energiewende rasch schaffen, um die Auswirkungen des Klimawandels zu mindern.

Wie schaffen wir die Energiewende Ihrer Ansicht nach?

Durch einen Mix von Energieformen, insbesondere Wasser, Sonne, Wind, Geothermie und ganz viel Speicherung als Puffer. Ich setze grosse Hoffnungen in die Geothermie, sie ist technisch viel weiter, als die meisten in Politik und Gesellschaft denken. Ich bin überzeugt: Die Energieversorgung der Unternehmen und Haushalte kann in Zukunft nicht mehr allein von grossen Produktionszentren aus erfolgen. Die zukünftige Versorgung wird sich massiv in Richtung dezentral verschieben.

Das heutige Stromnetz verträgt aber keine zu starken Schwankungen bei der Stromeinspeisung und -verteilung. Und Solar und Wind liefern nun einmal schubweise Energie.

Bisher machten die Verbraucher, was ihnen gerade einfiel, Produktion und Verteilung folgten – das funktionierte gut. Die grossen NEE-Produktionsanlagen sind aber nicht mehr effizient regelbar. Deshalb muss neu auch der Verbrauch geregelt werden, und das geht dank digitaler Kommunikation sehr gut. Zusätzlich werden bereits heute sehr grosse Speicherkapazitäten als Puffer zugebaut. Geothermie wäre in diesem Planspiel eine gute, stabilisierende Basisenergie für die sichere und wirtschaftliche Versorgung in Zukunft. Die Wärme aus dem Erdinnern kann sommers wie winters je nach Bedarf stärker oder schwächer genutzt werden.

**«Ich befürchte, dass ich weiterhin ganz viele Ideen haben werde, was ich noch alles machen könnte.»**

Man spürt, Sie setzen sich mit Leib und Seele für die Erneuerbaren ein.

Mein «Handicap» ist, dass mich wahn-sinnig viel interessiert, vor allem in den Naturwissenschaften und der Technik. Ich will bei allem verstehen, wie es funktioniert. Bei mir zuhause steht im Regal immer noch ein Buch, das ich mir als Kind lange gewünscht und irgendwann bekommen habe. Es heisst «Wie funktioniert das?». Die verschiedenen technischen Wirkmechanismen haben mich schon als Kind fasziniert.

Ihre Neugier kam Ihnen während der letzten zwölf Jahre als Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats der WSS zugute. Vor allem zu Beginn musste das fünfköpfige Gremium ja aktiv auf die Suche nach unterstützenswerten innovativen Forschungsideen gehen. Mittlerweile haben die meisten Universitäten und Hochschulen ihre Drittmittel-Stellen markant ausgebaut und professionalisiert. Sie kommen nun vermehrt auf die WSS zu mit prüfenswerten visionären Ideen, wie zum Beispiel der Entwicklung eines Einzel-

atomschalters, der die Halbleiter-industrie revolutionieren würde.

Mit dem 100-Jahr-Jubiläum im Jahr 2023 wurden die WSS und ihre Förderpraxis, grosse, visionäre Projekte zu finanzieren, breiter bekannt. Was war das Schwierigste im Auswahlprozess?

Mit Anstand Nein zu sagen, wenn wir an ein Projekt nicht glaubten. Unter Risiko-Kapitalisten, die «Ethik» buchstabieren können, gilt folgende Regel: Die zweitbeste Antwort, die man einem jungen Unternehmer geben kann, ist ein schnelles Nein. Daran habe ich mich als Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats gehalten, wenn ich eine schlechte Nachricht überbringen musste. Ich achtete darauf, respektvoll, aber klar abzusagen.

Die Projektfinanzierung der WSS erfolgt à fonds perdu, die Forschenden müssen keine definierten Resultate liefern. Aber die WSS pflegt den Kontakt zu den Forschenden und besucht sie regelmässig in ihren Labors und Instituten. Welche Vorteile sehen Sie in dieser WSS-spezifischen Förderpraxis?

Das absolute Alleinstellungsmerkmal der WSS-Förderung ist ihre Langfristigkeit. Da unsere Förderung grosszügig und verlässlich ist und sich über rund zehn Jahre erstreckt, können sich die Projektleiterinnen und -leiter auf die wesentlichen Aufgaben konzentrieren, insbesondere den Aufbau eines Spitzenteams – das ist ein zentrales Thema, das wir im persönlichen Gespräch mit den Projektleitern ausleuchten. Wir wollen auch, dass das Geld in exzellente Forschende und deren Arbeitsgeräte investiert wird, nicht in Gebäude. Ausserdem möchten wir zunehmend den Austausch unter den Projektleitenden stärken und die Projekte miteinander vernetzen.

Sie haben sich in Ihrer Karriere ein grosses und breites Netzwerk aufgebaut. Fällt Ihnen das Netzwerken leicht oder musste es halt einfach sein?

Ich habe eigentlich immer das getan, was mir Spass machte. Mein Handy ist mit rund 6000 gespeicherten Kontakten an seine Kapazitätsgrenze gelangt. So ein grosses Netzwerk schafft man nur, wenn man gerne mit den Leuten



Die Arbeit im Wissenschaftlichen Beirat der Werner Siemens-Stiftung sei «einfach super» gewesen, sagt Gianni Operto.

redet und auf sie eingehen kann. Die eigentliche Arbeit beginnt ohnehin nach dem Reden – man muss sein Netzwerk pflegen.

Ihr Netzwerk ist auch so gross, weil Sie in ganz unterschiedlichen Wirtschaftszweigen tätig waren. Gehen wir die wichtigsten Stationen kurz durch. Es fing an, dass Sie als junger, frisch an der ETH diplomierter Maschineningenieur lieber in die Industrie wollten, als – wie vom Professor vorgeschlagen – eine Doktorarbeit anzuhängen. Der richtige Entscheid im Rückblick?

Ja, sicher. Bei ABB konnte ich unheimlich spannende Aufgaben in den verschiedensten Ländern auf der ganzen Welt übernehmen. Eine solche Karriere zu machen, war für einen jungen Ingenieur super. Dass ich keinen Dokortitel hatte, war überhaupt kein Problem.

Auch nicht, als Sie als Einziger im Wissenschaftlichen Beirat der WSS weder Doktor noch Professor waren?

Ich stand in meiner Berufskarriere der Wissenschaft und Forschung immer sehr nah. Der fehlende Dokortitel war nie ein Thema, wenn ich etwas Neues in Angriff nahm, auch bei der WSS nicht. Nur selten, wenn ich im deutschen Sprachraum im akademischen Umfeld neue Personen traf und mich als Gianni Operto vorstellte, löste das kurz Verlegenheit aus. Manche sprachen mich kurzerhand mit Dr. Operto an. Oder fragten durch die Blume, bei wem ich denn doktoriert hätte. Aber sonst war das nie ein Problem.

Sie wechselten in den 1990er-Jahren zum Elektrizitätswerk Zürich, in einen städtischen Betrieb, und leiteten dort die Wende zu erneuerbaren Energien und Energieeffizienz ein. Statt bis zur Pension zu bleiben, machten Sie erneut einen überraschenden Schritt nach vorn: Sie wurden Risikokapitalist.

Als man mir das erste Mal von Venture Capital erzählte, wusste ich darüber so viel wie ein Kind über den Ladeprozess eines Zweitaktmotors. Doch

die zeitlich begrenzte Beteiligung an jungen, innovativen Start-ups im Bereich Energie und Umwelt schien mir interessant. Deshalb stieg ich ein und beteiligte mich am Aufbau dreier Venture-Capital-Fonds. Zuletzt bei Good Energies, wo ich ab 2007 den Investitionsbereich «Zukunftstechnik» übernahm. Das war im Vergleich zu den ersten beiden Fonds die nächsthöhere Liga, sie investierten pro Jahr 400 Millionen Schweizer Franken in verschiedene Cluster wie Solarenergie, Wind, Wasser und Green Buildings.

Weshalb wollten Sie 2011 dann doch Ihre eigene Firma gründen, die Cleantech-Beratung?

Mich störten zunehmend die kurzfristigen Überlegungen, wie der Gewinn maximiert werden kann, und die Art, wie Entscheidungen getroffen wurden. Nichts gegen Investmentbanker per se, aber manche haben wirklich wenig Ahnung von Technik und deren Weg zu einem Markterfolg und hängen sich an die unmöglichsten Ideen wie die kalte

Fusion, wenn man ihnen tolle Gewinne verspricht. Mit meinem technischen Hintergrund fand ich: Gehen wir doch gleich nach Las Vegas ins Casino, dort sind die Chancen zu gewinnen höher. Ich wollte nicht an Bord sein, wenn das Ding an die Wand fährt.

*Ihr Werdegang ist enorm vielfältig. Wenn Sie darauf zurückblicken – wo konnten Sie sich am besten einbringen?*

Der interessanteste Job in meiner Karriere war für mich klar bei der WSS. Wegen der Vielseitigkeit und der visionären Projekte, die wir in der WSS anschließen konnten. Und wegen dem fantastischen Team im Wissenschaftlichen Beirat. Das war einfach super. Ein Geschenk.

*Nun gehen Sie Anfang 2025 in Pension. Was planen Sie für die kommende Zeit?*

Ich werde für meine Familie da sein und sie bei Bedarf unterstützen. Meine Enkel hüten zum Beispiel. Ich habe das grosse Glück, dass der älteste Enkel wahnsinnig gern mit mir Velo fahren kommt und die beiden jüngeren sich fast prügeln, um mit mir ins Eltern-Kind-Singen zu gehen. Auch habe ich einen Stapel Bücher, die ich schon lange lesen möchte. Meine Frau hat Wanderpläne ... Und dann möchte ich viel mehr Musik machen, ich singe als Tenor in verschiedenen Chören.

*Wie kamen Sie als technikkaffiner Mensch zum Singen?*

Für diese Antwort muss ich etwas ausholen: Mein Vater hatte zwei Jahre Schulbildung, meine Mutter fünfzig

Prozent mehr – sie ging drei Jahre in die Schule. Dennoch hatte «bürgerliche» Musik in unserer Familie immer einen hohen Stellenwert. Mein Vater kannte sehr viele Libretti von italienischen Opern auswendig. Als Kind hätte ich wahnsinnig gern Klavier gelernt, doch das konnten sich meine Eltern nicht leisten. Mein Singlelehrer in der Bezirksschule in Zurzach fand dann, ich könne gut singen und kenne die Musiktheorie. Das bewog mich, die Abschlussprüfung in Gesang zu machen – es ging trotz Stimmbruch gut. So bin ich zum Singen gekommen und bis heute dabei geblieben.

*Wie wird ein typischer Montag bei Ihnen in Zukunft aussehen?*

Für mich gab es nie bestimmte Arbeiten für bestimmte Werkzeuge. Ich befürchte, dass ich weiterhin ganz viele Ideen haben werde, was ich noch alles machen könnte. Die werde ich wie bisher auflisten und anschliessend priorisieren. Was ich tue, hängt auch sehr vom Wetter ab – mich zieht es bei halbwegs anständigem Wetter nach draussen. Meistens mit dem Velo.

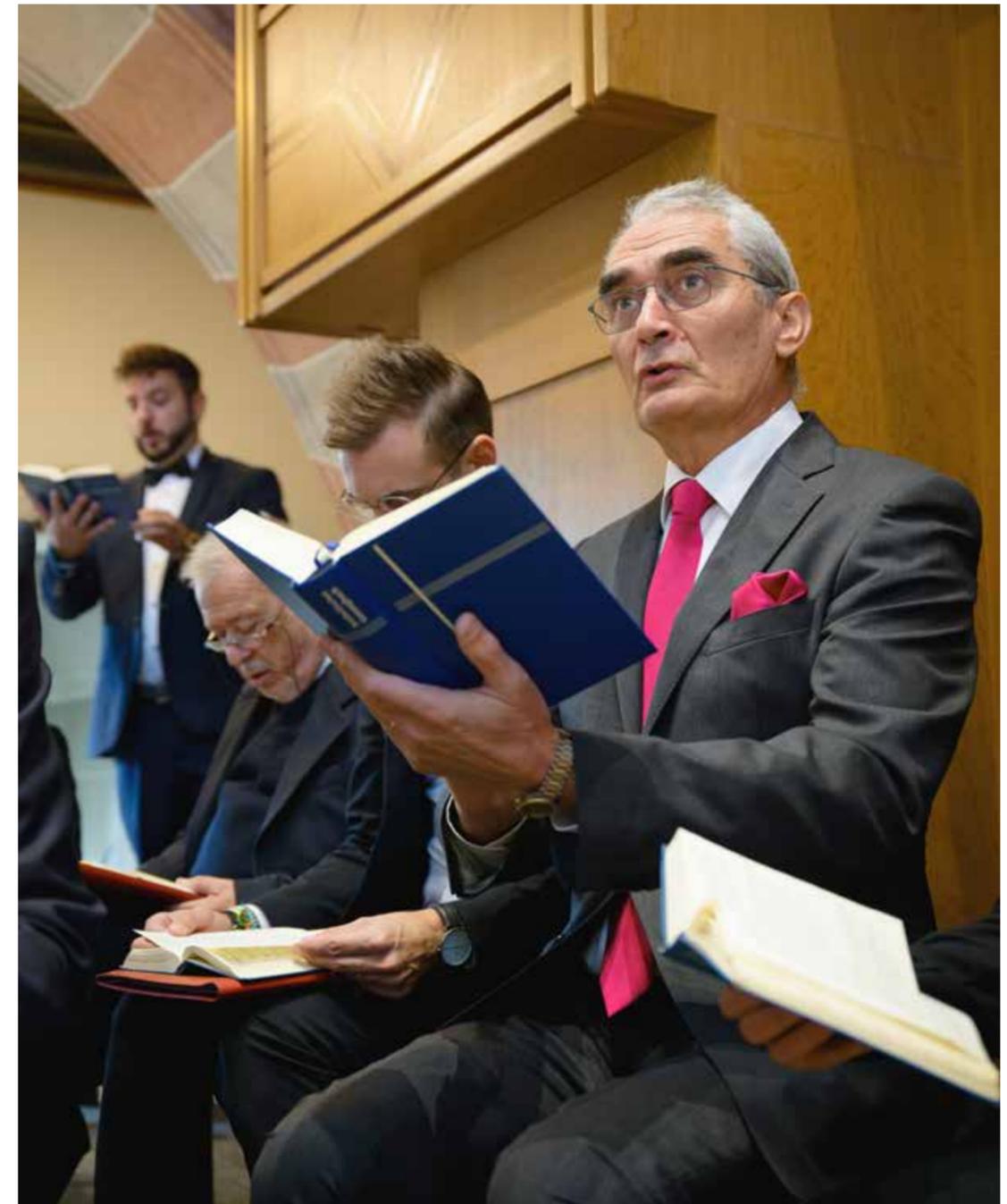
*Ihre Eltern gehörten zu den ersten italienischen Fremdarbeitern, die wegen der Arbeit in die Schweiz zogen. Sie und ihre Schwester wurden hier geboren. Als «Secondo» eine so steile Karriere hinzulegen, wie Sie es gemacht haben, ist nicht selbstverständlich. Wie hat Ihnen Ihr familiärer Hintergrund dabei geholfen?*

Um das zu erklären, muss ich erneut etwas ausholen: Meine Schwester und

ich sprachen von klein auf so perfekt Schweizerdeutsch, dass niemand merkte, dass wir Italiener waren. Doch Ende der 1960er-Jahre wurde die Schwarzenbach-Überfremdungsinitiative lanciert, die den Ausländeranteil in der Schweiz auf zehn Prozent beschränken wollte. Sie wurde in der Bevölkerung sehr emotional diskutiert. Immer wieder hörten wir die Leute über die «huere Tschingge» schimpfen. Das hat uns sehr getroffen, und wir befürchteten, dass wir die Schweiz verlassen müssten. Unsere Eltern versuchten uns zu stärken, indem sie uns ihre Werte, ihr Verantwortungsbewusstsein und den Stolz auf ihre Kultur vorlebten.

*Wie taten sie das?*

Sie erzählten uns die Geschichten aus ihrer piemontesischen Heimat, vom Widerstand gegen den Faschismus, in dem sie beide engagiert waren, von ihren Prinzipien: dass man sein Wort hält, Verantwortung übernimmt, Leistung bringt. Irgendwann begannen sie, während unserer Sommerferien bei der Grossmutter mithilfe automobilfreundlicher Verwandter uns Kindern den piemontesischen Barock zu zeigen. Ihr Stolz auf ihre Wurzeln vermittelte uns auch: Wir müssen uns vor niemandem ducken, auch nicht in der Schweiz. Stolz sein auf das, was man ist, aufrecht und selbstbewusst für sich einstehen und sein Können für das Wohl der Gesellschaft einsetzen – diese Werte haben mir bei allen Herausforderungen, die das Leben so bietet, weitergeholfen.



Gianni Operto kam schon als Jugendlicher zum Singen – und ist bis heute dabei geblieben.

# Hochkarätige Verstärkung

Michael Hengartner übernimmt neu den Vorsitz des Wissenschaftlichen Beirats der WSS. Der 58-jährige Molekularbiologe ist eine der wichtigsten Forschungsstimmen der Schweiz – er war Rektor der Universität Zürich und präsidiert heute den ETH-Rat, das strategische Führungsorgan des ETH-Bereichs.

Wissenschaftliche Top-Projekte findet man nicht einfach am Strassenrand. Sie aufzuspüren, auf ihre Machbarkeit abzuklopfen und allenfalls durch Tipps und kritische Rückfragen zu verbessern, ist die Aufgabe des Wissenschaftlichen Beirates der Werner Siemens-Stiftung (WSS). Dazu braucht es in dem Gremium hervorragende Wissenschaftler mit Erfahrung in der Projekt-Evaluierung und mit einem breiten Netzwerk in der Forschungslandschaft.

Das alles bringt Professor Michael Hengartner mit, der die Nachfolge von Gianni Operto als Vorsitzender des Wissenschaftlichen Beirats der WSS antritt. Hengartner ist Molekularbiologe – in seiner aktiven Forschungszeit arbeitete er mit dem Modellorganismus *C. elegans*, einem Fadenwurm, und zählte zu den weltweit führenden Wissenschaftlern auf dem Gebiet der Apoptose, des programmierten Zelltods. Von 2014 bis 2020 war er Rektor der Universität Zürich, der grössten Schweizer Universität. Seit 2020 lei-

tet er als Präsident den ETH-Rat, das Führungs- und Aufsichtsorgan des ETH-Bereichs.

Er habe sich über die Anfrage der WSS gefreut, sagt Hengartner. «Es ist eine sinnstiftende und gesellschaftlich hoch relevante Aufgabe – und ich traue mir zu, dass ich einen Beitrag dazu leisten kann, um den Stiftungsrat bei der Projektfindung zu unterstützen.» Die WSS, sagt Hengartner, sei eine der unüblichsten und spannendsten wissenschaftlichen Förderstiftungen im deutschsprachigen Raum, denn sie gehe mit der Unterstützung grosser, langfristiger Projekte bewusst auch hohe Risiken ein.

#### Persönlichkeiten finden

Gerade bei solchen Grossprojekten braucht es laut Hengartner für die Beurteilung mehr als den Blick auf ein ausgefülltes Antragsformular. «Das ist ähnlich wie bei einem Start-up», sagt er. «Der Business- oder Forschungs-Plan ist zwar wichtig, aber der Erfolg hängt stark von persönlichen

Faktoren ab – von der Projektleitung und vom Team.» Um solche Persönlichkeiten in der Wissenschaft zu identifizieren, braucht es ein entsprechendes Netzwerk und den persönlichen Austausch.

Hengartner engagiert sich bereits seit Jahren in verschiedenen Wissenschaftsstiftungen. Für ihn seien Förderstiftungen neben der Hochschul-Grundfinanzierung und kompetitiven öffentlichen Fördermitteln ein wichtiger, ergänzender Finanzierungszweig für die Forschung, sagt er. Die staatliche Finanzierung sei zumindest in der Schweiz ein Erfolgsmodell, aber die Wissenschafts-Philanthropie habe zugenommen, sagt Hengartner. «Traditionell unterstützten Stiftungen hierzulande eher Musik, Kunst oder Sport. In den letzten Jahren stelle ich aber fest, dass auch die Wissenschaft stärker gefördert wird.»

Für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sei das sehr interessant. Denn öffentliche Geldgeber wie der Schweizerische Nationalfonds

müssten sich an strikte Vergaberegeln halten. «Nicht jede gute Idee passt da hinein», sagt Hengartner. «Dank der Vielfalt an Förderstiftungen haben Forschende die Chance, auch für ganz spezielle Projekte eine Finanzierung zu finden.» Stiftungen hätten mehr Freiheiten und könnten beispielsweise eine spezifische Forschungsrichtung oder ein bestimmtes Ziel bevorzugen.

#### Dank Stiftungsprofessur nach Zürich

Was Stiftungen bewirken können, zeigt Michael Hengartners eigene Geschichte. «Gäbe es keine Stiftungen, wäre ich heute wohl nicht in Europa», sagt er. Hengartner wurde in St. Gallen in der Schweiz geboren, doch kurz danach wanderte seine Familie aus und landete schlussendlich in Kanada – sein Vater trat in Québec eine Professur an. Michael Hengartner absolvierte dort seine Schulzeit, studierte an der Laval-Universität Biochemie und machte ein Doktorat am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge USA.

Er bekam eine Stelle und leitete eine Forschungsgruppe am Cold Spring Harbor Laboratory in New York. «Eines Tages kam jemand auf mich zu und sagte mir, an der Universität Zürich gebe es eine neue Stiftungsprofessur – das wäre doch etwas für mich als Schweizer.» Es handelte sich um die Ernst-Hadorn-Stiftungsprofessur für Molekularbiologie, die von Charles Weissmann, Professor und Mitgründer der Biotechfirma Biogen, geschaffen worden war.

Bis dahin habe er nie daran gedacht, nach Europa zurückzukehren, erzählt Hengartner. «Doch das Angebot war sehr attraktiv – und als Forscher geht man dorthin, wo man eine spannende und sichere Stelle erhält.» So wanderte er aus in sein Vaterland, machte dort Forschungskarriere – und trägt nun seinerseits dazu bei, herausragende Forschende in Mitteleuropa zu fördern.



Professor Michael Hengartner ist der neue Vorsitzende des Wissenschaftlichen Beirats der Werner Siemens-Stiftung.

# Gremien

# Vergabeprozess

## Beirat der Familie

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

Oliver von Seidel  
Vorsitzender  
Düsseldorf, Deutschland

Dr. Christina Ezrahi  
Mitglied  
Berlin, Deutschland

Alexander von Brandenstein  
Mitglied  
Hamburg, Deutschland

## Stiftungsrat

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

Dr. Hubert Keiber  
Obmann  
Luzern, Schweiz

Prof. Dr. Peter Athanas  
Mitglied  
Baden, Schweiz

Beat Voegeli  
Mitglied  
Rotkreuz, Schweiz

## Wissenschaftlicher Beirat

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

Prof. Dr. Michael Hengartner,  
Vorsitzender, Präsident ETH-Rat,  
Zürich/Bern, Schweiz

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

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Matthias Kleiner,  
Mitglied, ehem. Präsident Leibniz-  
Gemeinschaft Berlin, Deutschland

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

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

## Auswahlkriterien

Die Werner Siemens-Stiftung fördert jährlich ein bis drei pionierhafte technische und naturwissenschaftliche Projekte an Hochschulen 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 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 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  
Guthirhof 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](http://www.wernersiemens-stiftung.ch)

## Projektleitung

bigfish AG, Aarau  
Koechlin Kommunikation, Brittnau

## Gestaltung

bigfish AG, Aarau

## Redaktion

Koechlin Kommunikation, Brittnau

## Texte

Simon Koechlin, Brittnau  
S. 28–53, 58–83, 86–89, 92–95, 98–101,  
104–105, 114–115  
Brigitt Blöchlinger, Zürich  
S. 84–85, 90–91, 96–97, 102–103, 109–113  
Mathias Plüss, Vordemwald  
S. 56–57

## Korrektorat

Niklaus Waber, Strengelbach

## Fotografien

Felix Wey, Fotostudio, Baden  
S. 8–9, 12, 14–17, 20–23, 28–40, 42, 58–65, 82,  
89, 94, 99–100, 105–113  
Oliver Lang, Fotografie, Lenzburg  
S. 10–11, 13, 18–19, 46–50, 66–77, 90, 103, 115  
Prof. Dr. Martin Saar, ETH Zürich, S. 41  
Hannes Woidich, Fotografie, Dortmund, S. 53  
NOAA's #GOES16 satellite, S. 85  
Prof. Dr. Ueli Angst, ETH Zürich, S. 97

## Illustrationen

bigfish AG, Aarau

## Druckerei

Kasimir Meyer AG, Wohlen

© Werner Siemens-Stiftung, 2024



