



WSS

WERNER SIEMENS-STIFTUNG



WSS
WERNER SIEMENS-STIFTUNG

Report 2022

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

Insgesamt 25 hochkarätige Forschungsprojekte in den Lebens-, Natur- und Technikwissenschaften hat die Werner Siemens-Stiftung (WSS) seit Beginn ihrer philanthropischen Aktivitäten gefördert – jährlich kommen ein bis drei neue hinzu. Auch 2022 konnten wieder zwei vielversprechende Projekte ihre Arbeit aufnehmen: In Potsdam bei Berlin untersuchen Forschende am FutureLab CERES, mit welchen politischen Massnahmen sich Klima, Biodiversität und Böden schützen lassen (Seite 74). Und in Aachen arbeitet das Team des Projekts TriggerINK an einer völlig neuartigen Methode, um Knorpel in beschädigten Gelenken nachwachsen zu lassen (Seite 54).

Der vorliegende «Report» ist neu strukturiert. Sein Herzstück ist das diesjährige Schwerpunktthema

«Innovative Medizin» (ab Seite 22). Hier stellen wir die geförderten Projekte im Themenbereich «Medizin und Medizintechnik» nicht nur vor, sondern auch in einen breiteren Zusammenhang. Unter anderem erzählt Medizin-Nobelpreisträger Thomas Südhof, was in seinen Augen gute Forschungsförderung ausmacht – und weshalb der Weg von der medizinischen Grundlagenforschung zur medizinischen Praxis derart steinig ist (Seite 66).

Kürzlich erschienen ist der prächtige Band «Charlotte Siemens und Marie Siemens» – verfasst von der Historikerin Béatrice Busjan und der Archivarin Yvonne Gross (Seite 100). Somit sind nun, in drei Bänden, die Biografien aller fünf Frauen erhältlich, welche die Werner Siemens-Stiftung gegründet und alimentiert haben. Die Buch-Trilogie ist eine wunderbare

Einstimmung auf das 100-jährige Bestehen, das die Werner Siemens-Stiftung im Jahr 2023 feiert.

Wir begehen dieses Jubiläum im Mai in einem würdigen Rahmen im Kreis der Nachkommen von Werner und Carl von Siemens. In Zusammenhang mit dem Jubiläum hat die Werner Siemens-Stiftung im Dezember 2021 die Ottara Stiftung gegründet. Im Rahmen der Familienversammlung wird es weitere Informationen zu dieser Stiftung geben.

Zum 100-jährigen Bestehen wollen wir auch im philanthropischen Teil der Stiftung einen Akzent setzen. So hat die Werner Siemens-Stiftung im Herbst einen Ideenwettbewerb für ein «Jahrhundertprojekt» lanciert. Forschende aus Deutschland, Österreich und der Schweiz wurden eingeladen, Projektvorschläge ein-

zureichen für ein WSS-Forschungszentrum «Technologien für eine nachhaltige Ressourcennutzung». Das von einer hochkarätigen Jury ausgewählte Projekt wird für einen Förderzeitraum von 10 Jahren mit einem Finanzvolumen von insgesamt 100 Millionen Schweizer Franken ausgestattet.

Ich bin sehr gespannt, welche überraschenden und kühnen Ideen für dieses einzigartige Projekt bei uns eintreffen werden. Und ich freue mich über alle anderen neuen Vorhaben, die im Jubiläumsjahr auf uns zukommen.

Nun wünsche ich Ihnen eine anregende Lektüre!

Hubert Keiber,
Obmann des Stiftungsrats der
Werner Siemens-Stiftung

Inhalt

Report 2022

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

Fokus: Innovative Medizin

- 24 Technik im Körper
Prothesen und Implantate werden immer ausgeklügelter – manche sogar smart
- 34 Innovationen gegen Infektionen
Wer forschen will, braucht Ideen. Wie kommt man auf neue Einfälle? Drei Forschende erzählen.
- 40 Die Liste
Zwölf kuriose Körperfakten
- 44 Vermessung des Körpers
Bildgebende Methoden erlauben einen immer genaueren Blick in Zellen und Gewebe
- 52 Messplattform für Erschöpfungszustände
Ein junger Informatiker will Menschen mit Fatigue helfen
- 54 Gewebeersatz der Zukunft
Das neu unterstützte Projekt TriggerINK will Knorpel mithilfe einer Bio-Tinte zum Nachwachsen bringen
- 66 «Verschwendetes Geld, verpasste Möglichkeiten»
Nobelpreisträger Thomas Südhof über gute und schlechte Forschungsförderung

Laufende Projekte

- 74 Globale Gemeingüter schützen
Das neu unterstützte Projekt CERES untersucht, welche Klimaschutz-Massnahmen fruchten
- 82 Kleiner, schneller, effizienter
Das Forschungsprojekt Atomschalter vermeldet Rekord um Rekord
- 84 Die Kraft aus der Tiefe
Tiefengeothermie kann nachhaltige Energie liefern, vielleicht gar mit gleichzeitiger Klimagas-Speicherung
- 86 Messungen auf hoher See
Die Forschungsjacht «Eugen Seibold» liefert ihre ersten Klimadaten
- 88 Entdecken, kartieren, auswerten
Tauchroboter sollen künftig selbstständig ökologisch wertvolle Tiefsee-Gebiete überwachen
- 90 Hochbetrieb im Stollen
Das Bedretto-Untergrundlabor wird erweitert, weil das Interesse an der Geothermie wächst
- 92 Die zweite Quantenrevolution
Dem CarboQuant-Team gelingt es immer besser, Kohlenstoff-Nanobänder zu bändigen
- 94 Wie gut ist der Datenschutz?
Eine Corona-Warn-App als Lehrbeispiel für die Erforschung des digitalen Vertrauens
- 96 Vollgas im Materiallabor
Eine Hochdurchsatzanlage beschleunigt die Suche nach thermoelektrischen Materialien

Die Werner Siemens-Stiftung

- 100 Schicksalsschläge und Lebensglück
Eine prächtige Doppelbiografie beleuchtet das Leben der Stiftungsgründerinnen Charlotte und Marie Siemens
- 104 Gremien
- 105 Vergabeprozess
- 106 Impressum



Im Projekt TriggerINK entstehen Mikrogele, die bei der Knorpelheilung helfen werden.



Mit Modellen und Implantaten aus dem 3D-Drucker verbessert das Projekt MIRACLE II Knochenoperationen.



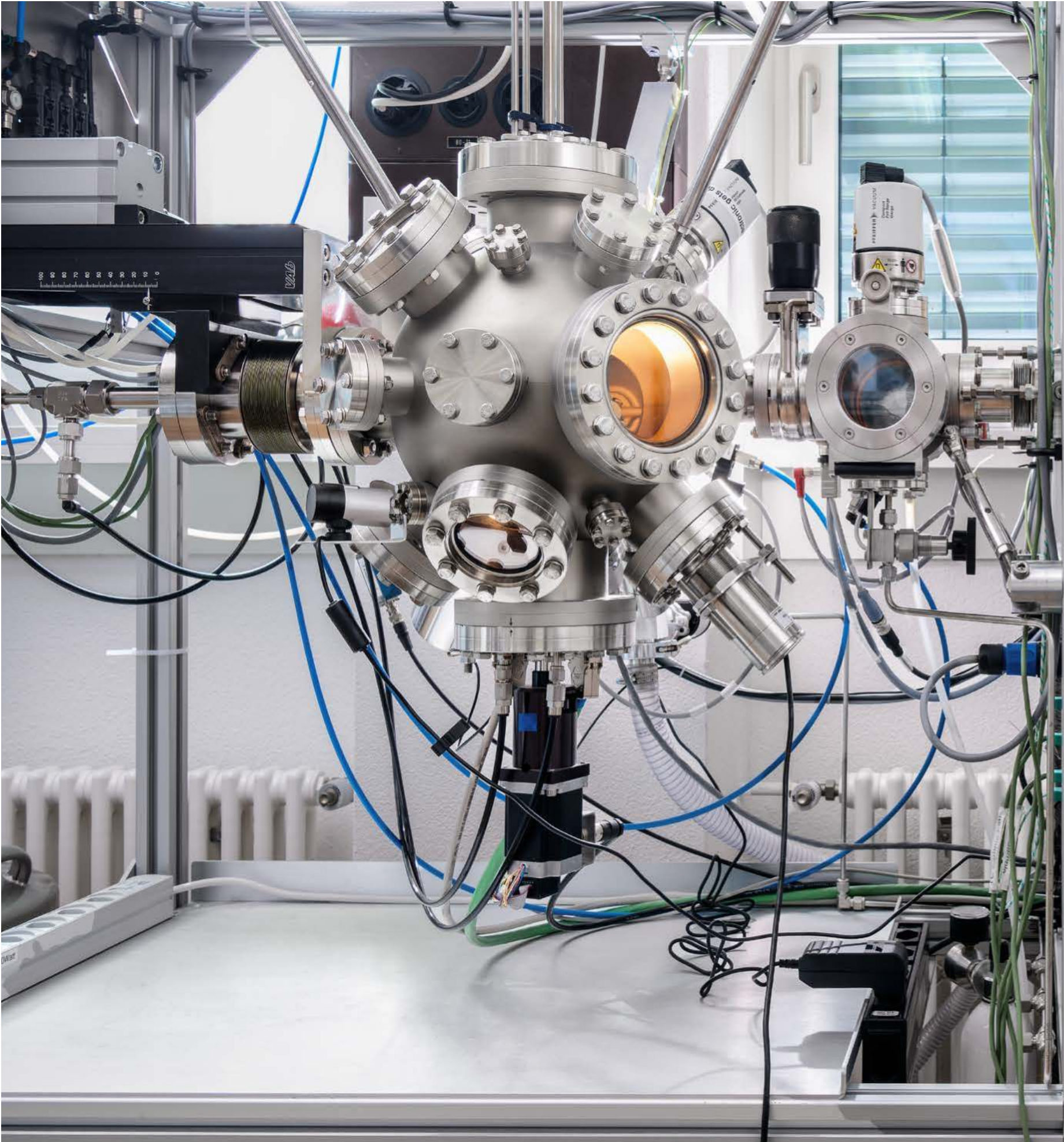
Das Zentrum für künstliche Muskeln testet das Einsetzen eines Aorta-Rings.



Beim Bau eines Einzelatom-Schalters wären selbst winzigste Verunreinigungen fatal.



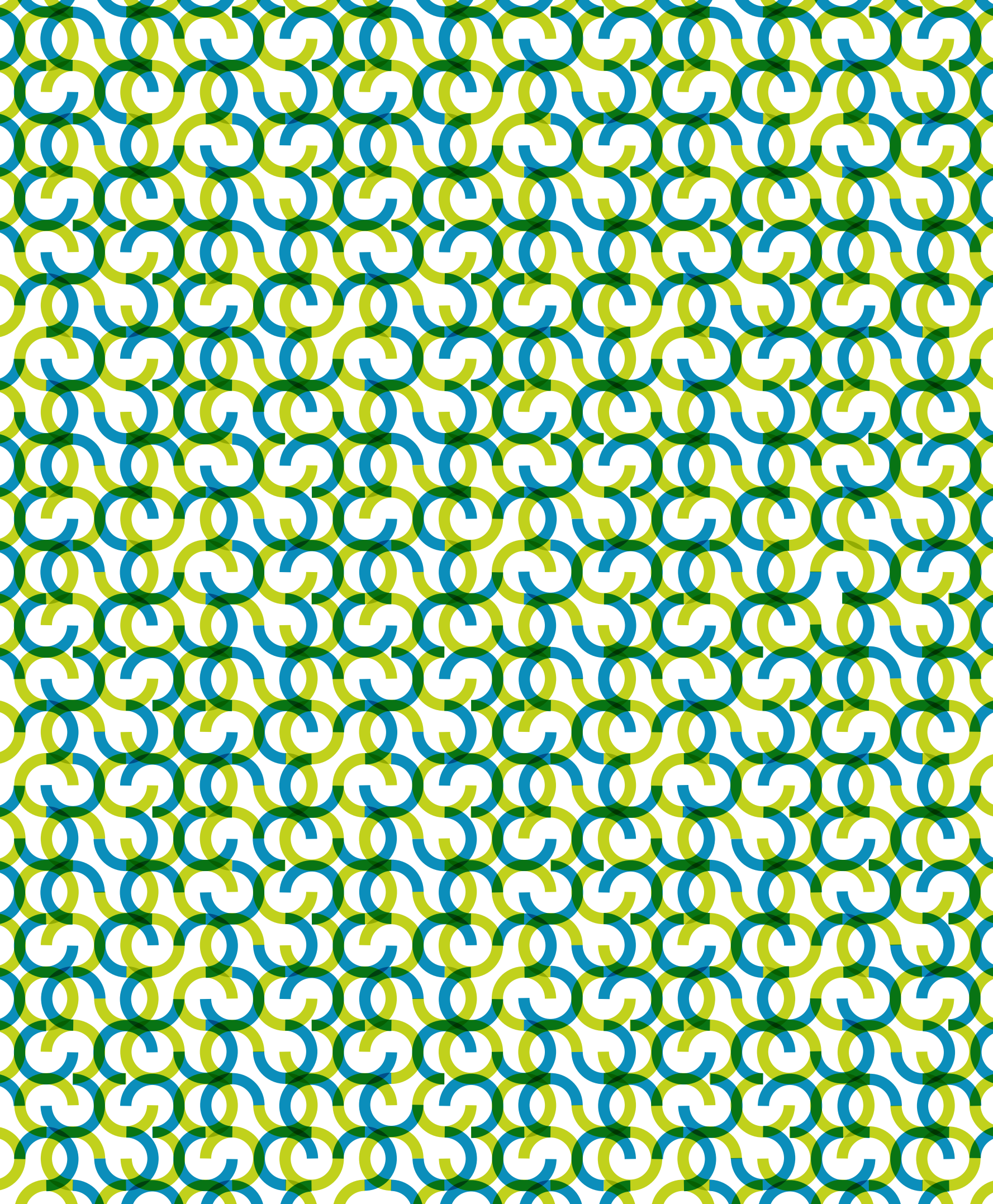
Volle Konzentration im Sommercamp der Schweizerischen Studienstiftung.



Das Projekt CarboQuant vermisst Materialien im Rastertunnelmikroskop.



Die Messgeräte der «Eugen Seibold» liefern Forschenden wertvolle Klimadaten.



Innovative Medizin

Gesundheit ist unser höchstes Gut. Seit jeher versuchen Menschen, Krankheiten und Schmerzen zu bekämpfen. Der Fokus auf den folgenden Seiten zeigt, wie von der Werner Siemens-Stiftung unterstützte Projekte an der Entwicklung modernster Therapien forschen. Und ein Nobelpreisträger sagt, weshalb es derart wichtig ist, auch in Grundlagenforschung zu investieren.



Implantate mit Zukunft

Wenn der Axolotl ein Körperteil verliert, lässt er es einfach nachwachsen. Weil das bei uns Menschen nicht funktioniert, arbeiteten schon die Ärzte im alten Ägypten mit künstlichen Körperersatzteilen. Doch erst heute scheint die grosse Zeit der Implantate anzubrechen. Das zeigen drei innovative Projekte, die von der Werner Siemens-Stiftung unterstützt werden.

Der Mensch ist kein Axolotl. Uns gehen die Regenerationsfähigkeiten dieses Salamander-ähnlichen Tieres ab. Zwar erneuern sich viele Zellen und Zellbestandteile in unserem Körper laufend. Aber wenn ein Knochen zerbröselt, sich ein Erwachsener einen Zahn ausschlägt oder bei einem Arbeitsunfall einen Finger abtrennt, dann hat unser Körper keinen Ersatz auf Lager. Beim Axolotl hingegen wächst zeit seines Lebens praktisch jedes verloren gegangene Körperteil nach: das Beinchen, die Hoden, das durchtrennte Rückenmark. Selbst Teile des Hirns kann der in Mexiko beheimatete Schwanzlurch reparieren.

Vielleicht kamen deshalb die ebenfalls in Zentralamerika lebenden Maya schon früh auf die Idee, einem Menschen einen künstlichen Körperteilersatz einzusetzen? Nachgewiesen ist auf jeden Fall, dass im siebten oder achten Jahrhundert nach Christus ein Maya-Arzt einer jungen Frau drei Zahnimplantate aus zugeschlifenen Muschelschalen einsetzte. Die Maya waren allerdings nicht die früheste Kultur, die Implantate benutzte. In ägyptischen Gräbern fanden Archäologen beispielsweise einen Holzzeh und eine Zahnbrücke aus Gold, die einen abgebrochenen Backenzahn stützte.

Im Lauf der Zeit wurden die Körperersatzteile ausgefeilter. Berühmt ist die eiserne Hand des Götz von Berlichingen, mit welcher der fränkische Reichsritter sogar greifen konnte – für das frühe 16. Jahrhundert eine

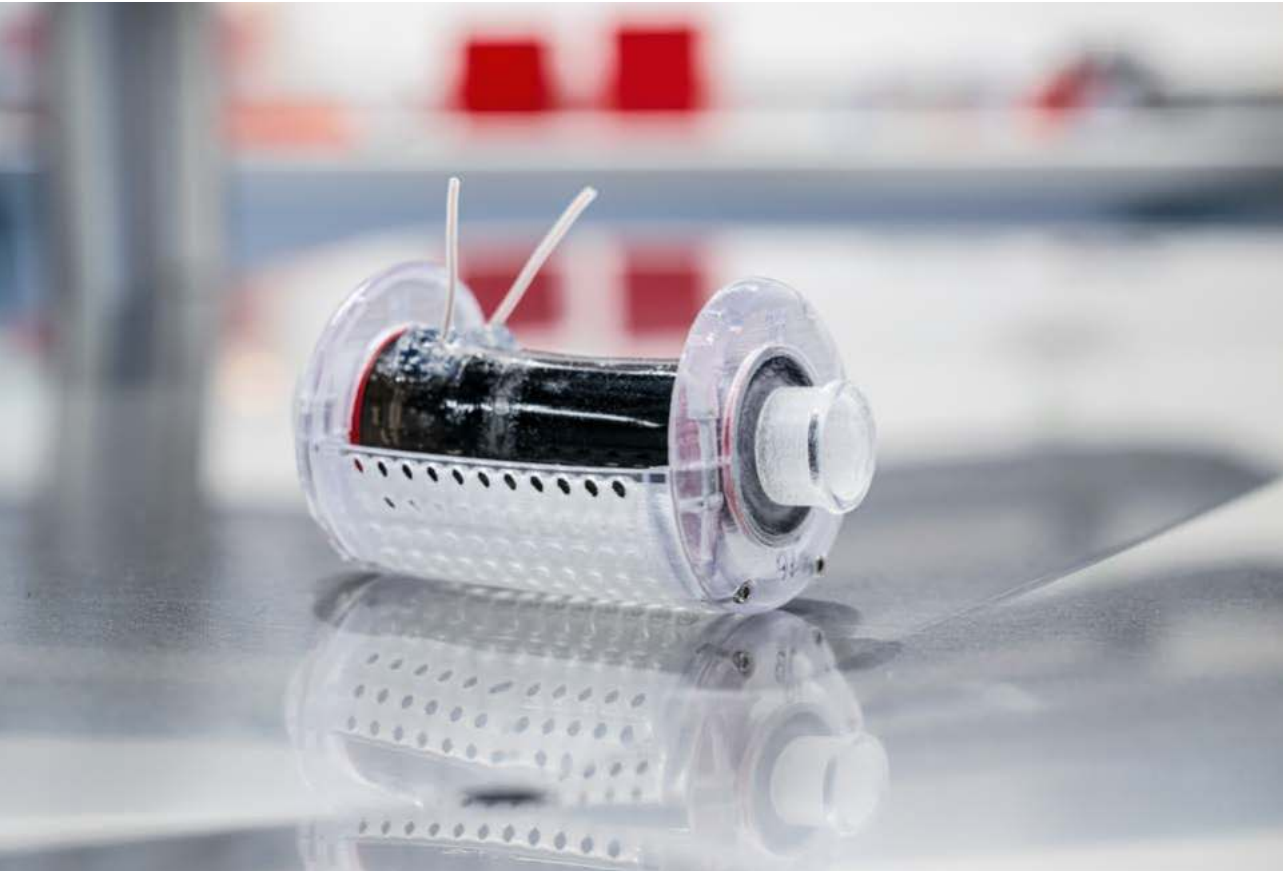
technische Meisterleistung. Über Jahrhunderte konnten Prothesen jedoch nur am Körper angebracht werden. Operationen im Körper hingegen galten als unherrschbar, sie führten unweigerlich zu Blutungen und Infektionen. Das änderte sich erst im 19. Jahrhundert. 1890 implantierte der Berliner Chirurg Themistocles Gluck erstmals Knieprothesen aus Elfenbein. Er fixierte sie mit Zement an von Tuberkulose befallene Knochen.

Die erste Kunstniere, eine Wäschetrommel

Im und nach dem Ersten Weltkrieg erlebten der Gebrauch und die Weiterentwicklung von Prothesen wegen der vielen Kriegsversehrten einen traurigen Höchststand. Einen regelrechten Innovationsschub in der Medizintechnik gab es nach dem Zweiten Weltkrieg: Es kamen Metallplatten bei Oberschenkelhalsfrakturen, Hüft- und Knieprothesen aus Titan oder Schienen für krebsgeschädigte Wirbelsäulen auf den Markt. 1958 wurde in Stockholm der erste Herzschrittmacher implantiert. Erste Herzklappen wurden in den 1960er-Jahren entwickelt.

Seither hat die Forschung an Implantaten und Prothesen enorme Fortschritte gemacht. Und heute arbeiten Forschende an Geräten, die spezifische Funktionen im Körper übernehmen, was man einst für unmöglich hielt. Am Zentrum für künstliche Muskeln der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) am Stand-

Die Forschungsgruppe des Zentrums für künstliche Muskeln will mit einer Membran aus einem hochelastischen Material (schwarz) die Aorta von Menschen mit Herzschwäche unterstützen. Eine Hülle aus festem Plastik schützt die Membran vor äusseren Einflüssen.



Mikrotechnik trifft auf Spitzenmedizin: Yves Perriard (Mitte) im Gespräch mit Teamkollege Yoan Civet (links) und Herzchirurg Paul Philipp Heinisch vom Deutschen Herzzentrum München.

ort Neuenburg, das von der Werner Siemens-Stiftung seit 2018 finanziert wird, entwickelt ein Team um den Mikrotechnikingenieur Yves Perriard zum Beispiel einen künstlichen Muskel, der Menschen mit Herzschwäche helfen soll.

Perriard kennt sich in der Geschichte von Körperersatzteilen aus. Er erzählt vom niederländischen Arzt Willem Johan Kolff, dem Erfinder der künstlichen Niere. Kolff baute seine erste Kunstniere in den 1940er-Jahren. Sie sah aus wie eine Wäschetrommel aus Holz, um die eine Membran gewickelt war. Das Gerät stand neben dem Patienten, dessen Blut wurde über Schläuche durch die Membran geleitet. Die Trommel drehte die blutgefüllten Schläuche durch eine Spüllösung – das Prinzip der heute gängigen Dialyse. «Das waren andere Zeiten in der Implantatforschung», sagt Yves Perriard. «Kolff war ein Mediziner, der solche Geräte selbst entwickelte.»

Auch abgesehen von der Niere war Kolff ein Pionier der Erforschung künstlicher Organe. Er entwickelte die Jarvik-7 mit, das erste Kunstherz, das im Jahr 1982 erfolgreich einem Patienten implantiert wurde. «Kolff sagte damals voraus, in einigen Jahrzehnten würden wir alle Organe durch künstliche Organe ersetzen», sagt Perriard. «Doch er täuschte sich darin, wie komplex der Körper ist.» Selbst trivial erscheinende Vorgänge im Körper können Forschende noch heute vor schier unlösbare Herausforderungen stellen. Ein Beispiel sei der Blutfluss, erzählt Perriard. Blut fliesse viel komplexer als Wasser. Zudem

sind die Blutkörperchen enorm empfindlich. «Sogar in eigentlich sanften Pumpen wie den Jarvik-Kunstherzen gehen viele Blutkörperchen kaputt, wenn sie mit den harten Materialien in Kontakt kommen, aus denen diese Geräte gebaut sind.»

Neue Materialien nutzen

Genau solche Überlegungen haben Perriard auf die Idee gebracht, die zur Errichtung des Zentrums für künstliche Muskeln führte. «Ich sagte einmal, man müsste doch ein System haben, das ohne Kupfer oder Stahl auskommt.» Das sei zur damaligen Zeit Spass gewesen. Doch 2012 stiess Perriard auf das Prinzip der dielektrischen Elastomer-Aktoren (DEA). Es handelt sich um neuartige, enorm elastische Materialien, die mit einem einfachen Funktionsprinzip elektrische Energie direkt in mechanische Arbeit umwandeln. «Ich dachte, dieses Prinzip könnte man für neuartige Implantate nutzen», sagt Perriard.

Heute entwickeln Perriard und sein Team im Zentrum für künstliche Muskeln nach diesem Prinzip eine elastische Membran, die als Ring um die Aorta gelegt werden kann. Ein elektrischer Impuls bewirkt, dass sich der Ring zusammenzieht und ausdehnt und so die Aorta dabei unterstützt, Blut durch den Körper zu pumpen. 2021 implantierte das Team, zu dem auch Mediziner wie der Herzchirurg Thierry Carrel gehören, einen solchen künstlichen Muskel erstmals in Schweinen. «Das Prinzip funktionierte», erzählt Perriard, «aber



Künstliche Muskeln

Herzschwäche ist eine Volkskrankheit. Von fünfzig Erwachsenen leidet einer darunter. Das Zentrum für künstliche Muskeln an der École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) am Standort Neuenburg arbeitet an einer Weltneuheit, um Betroffenen zu helfen: Ein künstlicher Muskel soll die Pumpleistung des Herzens entscheidend verbessern. Die Idee ist es, einen elektroaktiven Polymerring um die Hauptschlagader von Patienten zu legen. Angetrieben wird er durch eine Batterie, welche die Patientin oder der Patient auf sich trägt. Der Ring dehnt sich in rhythmischen Abständen aus und weitet so die Schlagader.

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

die mechanische Energie war noch zu schwach, um das Herz zu unterstützen.» Um die Pumpleistung zu erhöhen, mussten die Forschenden ein neues Implantat bauen, das eine höhere Spannung aushält. Im Herbst 2022 fanden damit neue Tierversuche statt.

Zwei weitere Fortschritte hat das Team im letzten Jahr erzielt: Zum einen gelang es, die Spannungsquelle zu verkleinern, welche die elektrische Energie für den Kunstmuskel liefert. Dieses kabellose Gerät sollen künftige Patienten am Gürtel tragen. «Bisher war es so gross wie eine Kiste, jetzt misst es noch zehn auf zehn Zentimeter», sagt Perriard.

Der dritte Erfolg ist ein neues Subprojekt. «Die Herzklinik München kam auf uns zu, weil sie unsere Technik interessant findet für die Behandlung von Kindern mit einem sogenannten Einkammerherz», erzählt Perriard. Normalerweise wird bei einem solchen Herzfehler ein Bypass gelegt – doch darin herrscht kein Druck. «Unser System könnte diesen Druck vielleicht liefern.» Ein Problem dabei: Es gibt keine Versuchstiere mit Einkammerherzen. «Das heisst, wir müssen unser Lösungssystem extrem gut modellieren.»

Doch gerade das, findet Perriard, ist das Spannende an der heutigen Implantatforschung. «Es sind aufregende Zeiten in diesem Gebiet», sagt er. Zum einen, weil heute neue Materialien vorhanden sind, die ganz neue Ansätze ermöglichen. Zum anderen, weil dieser Forschungszweig heute – anders als zu Willem Johan Kolffs Zeiten – äusserst interdisziplinär aufgestellt ist. Neben den Ärzten sind in Perriards Team Materialforscherinnen wichtig, aber auch Modelliererinnen und Elektrotechniker.

Das Implantat regt die Heilung an

«Das grenzüberschreitende Denken ist enorm wichtig. Wichtige Erfindungen in der Medizin gingen sehr oft von neuen Technologien aus, nicht von der Medizin», sagt auch Tim Pohlemann, Direktor der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie am Universitätsklinikum des Saarlandes. Er leitet gemeinsam mit seiner Kollegin Bergita Ganse das Projekt Smarte Implantate, das von der Werner Siemens-Stiftung seit 2019 unterstützt wird.

Mithilfe neuartiger Technologien aus der Materialtechnik entwickelt das Saarländer Team intelligente Implantate, welche die Heilung von komplizierten Knochenbrüchen verbessern sollen, indem sie den Heilungsprozess überwachen, bei Fehlbelastungen warnen – und durch eigene, gezielte Bewegungen an der Bruchstelle den Heilungsprozess anregen. Frakturen, das zeigen Vorstudien, heilen schneller, wenn die Bruchstelle durch Mikrobewegungen stimuliert wird.

Um solche Mikrobewegungen auszuführen, muss das smarte Implantat in der Lage sein, sich auf ein elektrisches Signal hin zu bewegen oder zu verformen, später aber wieder seine ursprüngliche Form anzunehmen. Das Team experimentiert dafür momentan vor allem mit haarfeinen Drähten aus einer Nickel-Titan-Mischung,

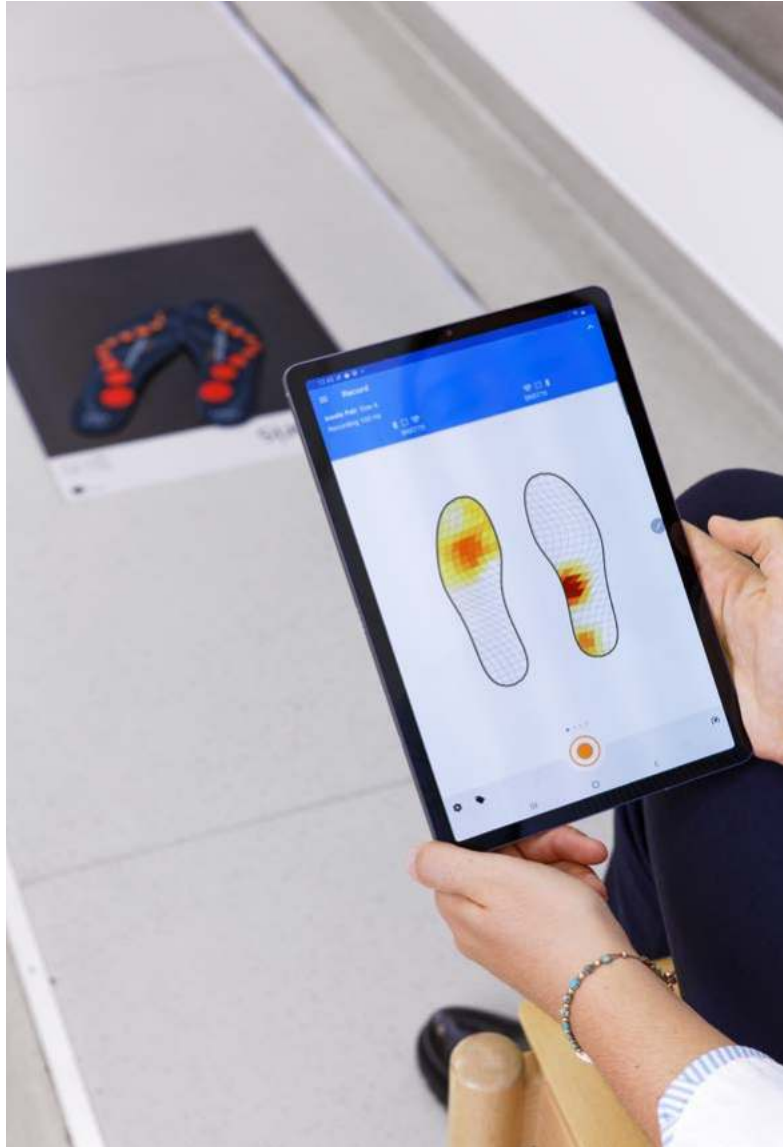


Unvermeidliche Tests am Tiermodell: Bevor der Aorta-Ring in klinischen Versuchen beim Menschen zum Einsatz gelangen kann, müssen ihn die Forschenden vom Zentrum für künstliche Muskeln an Versuchstieren prüfen.



Gewusst wo: Die richtige Platzierung des smarten Implantats am Unterschenkelknochen ist entscheidend.

Die Ganganalyse zeigt der Saarländer Forschungsgruppe auf, wie stark eine Patientin oder ein Patient ein gebrochenes Bein belastet.



die ins Implantat eingebaut werden. «Aber wir müssen weiterhin die Fühler ausstrecken», sagt Pohlemann. «Es gibt Hunderte von Materialien – vielleicht wäre eines für unsere Zwecke noch geeigneter.»

Die Entwicklung solcher aktiver Implantate wäre ein Quantensprung in der Geschichte der Behandlung von Knochenbrüchen. In den 1960er-Jahren wurden die ersten Frakturen mittels Platten fixiert. «Damals war es für Chirurgen einfach», erzählt Pohlemann, «das Ziel war absolute Stabilität: Man versuchte, Brüche nach der Operation möglichst spaltfrei zu fixieren.» Später hiess das Ziel «relative Stabilität»: Man liess Bewegung zu, weil man sah, dass sie wichtig ist für eine gute Heilung. «Heute ist unser Ziel die kontrollierte Stabilität, wir lassen nur ganz bestimmte Bewegungen zu», sagt Pohlemann.

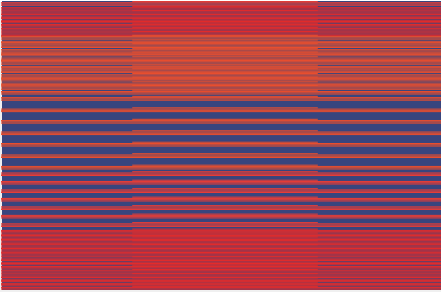
Zwar ist der Weg bis zur Marktreife der Saarländer Implantate noch weit. «Wir überspringen mit unserem Projekt mehrere Generationen», sagt Pohlemann. Doch die bereits erzielten Fortschritte lassen sich sehen. So haben die Forschenden bereits einen sogenannten Demonstrator angefertigt. Dieses Implantat, das von der Grösse her in einen Unterschenkelknochen passt, besteht aus Kunststoff und Metall. Je nach Strom-Signal zieht es sich zusammen oder verlängert sich. Der Demonstrator ist zentral, um all die technischen Fragen zu untersuchen, die für die Entwicklung eines aktiven Implantats wichtig sind.

Genauso wichtig ist es aber auch, den Heilungsprozess aus medizinischer Sicht genau zu verstehen. «Bis heute weiss man nicht, warum jeder siebte Schienbeinbruch trotz Implantat nicht gut verheilt», sagt Tim Pohlemann. Ein Höhepunkt des vergangenen Jahres sei für sein Team deshalb die Fertigstellung des Ganganalyselabors gewesen. Bereits seien ungefähr zwanzig Patientinnen und Patienten mit Sensoren ausgerüstet – im Labor können nun reale Heilungsverläufe detailliert gemessen werden. «Das gibt uns einen Datenpool, der nun rasch wachsen wird», sagt Pohlemann.

Ein Labor voller 3D-Drucker

Smarte Implantate zu entwickeln ist auch eines der Ziele des Projektes MIRACLE und MIRACLE II an der Universität und am Universitätsspital Basel, das von der Werner Siemens-Stiftung seit 2015 gefördert wird. Das MIRACLE-Team baut einen Chirurgieroboter, der in Zukunft von Krebs befallene oder bei Unfällen zersplitterte Knochen mittels eines Lasers minimalinvasiv schneidet oder Bohrlöcher setzt (siehe auch Text Seite 44). Weil der Laser den Knochen in jeglichen Formen schneiden kann, ergeben sich ganz neue Möglichkeiten für den Einsatz von Implantaten. Knochen und Implantat könnten künftig zum Beispiel wie zwei Puzzleteilchen ineinandergesteckt werden – und so aneinander halten, ohne dass man sie wie bisher mit Schrauben oder Platten befestigen muss.

Für solche individuell geformte Implantate setzt Florian Thieringer, Co-Leiter des MIRACLE-II-Projektes, auf die Technik des 3D-Drucks. Das 3D-Druckverfahren werde in der Medizin schon seit mehr als dreissig Jah-



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:
12 Mio. Schweizer Franken
Projektdauer: 2019–2025
Projektleitung: Prof. Tim Pohlemann, Prof. Bergita Ganse, PD Dr. Marcel Orth, Prof. Stefan Diebels, Prof. Stefan Seelecke, Prof. Phillipp Slusallek, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes



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 spital-eigenen 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, Leiter des Department of Biomedical Engineering (DBE), Universität Basel
Prof. Dr. mult. Florian M. Thieringer, Chefarzt für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Leiter der Swiss MAM Forschungsgruppe des DBE, Universitätsspital Basel
Prof. Dr. Georg Rauter, Leiter des Bio-Inspired Robots for MEDicine-Lab (BIROMED-Lab) am DBE, Universität Basel

ren eingesetzt, erzählt Thieringer, der kürzlich an der Universität Basel zum Professor und am Universitätsspital Basel zum Chefarzt für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie ernannt worden ist. In den 1980er-Jahren hätten sich beispielsweise gedruckte Schädelmodelle als sehr hilfreich erwiesen, um Eingriffe zu planen. «Ärztinnen und Ärzte hatten dadurch erstmals die Möglichkeit, die Anatomie ihrer Patientinnen oder Patienten in den Händen zu halten und buchstäblich zu begreifen.» Später wurde es auch möglich, perfekt vorgeformte Implantate zu erstellen.

Das gefaltete Implantat

Anfangs waren teure Hochleistungscomputer für den 3D-Druck notwendig. Heute reichen handelsübliche Computer aus. Bereits seit mehreren Jahren gibt es im Universitätsspital Basel ein 3D-Druck-Labor. Bislang wurde es genutzt, um patientenspezifische Modelle herzustellen. Nun aber lasse sich das Labor zertifizieren, sodass in Zukunft auch patientenspezifische Implantate produziert werden könnten, erzählt Thieringer. «Durch bekommen wir für die individuelle Versorgung unserer Patientinnen und Patienten kürzere Wege, eine kürzere Produktionszeit und tiefere Kosten.»

Damit diese passgenauen Implantate dereinst durch den minimalinvasiven Zugang in den Körper passen, setzt Thieringer auf eine Art Origami-Technik. Die Idee: Ein Implantat besteht künftig aus mehreren kleinen Teilen. Die Teile werden einzeln in den Körper eingeführt und vor Ort zu einem Ganzen zusammengesetzt. «Bereits das ist smart», sagt Thieringer. «Zudem wollen wir künftig das Material genau auf die Bedürfnisse der Patientin oder des Patienten anpassen. Und wir möchten sie mit Sensoren versehen, die Informationen liefern über den Zustand des Implantats oder über die Reaktion des Körpers darauf.»

Prothesen und Implantate werden also schon bald bedeutend mehr sein, als starre Ersatzteile im Körper. Für Patientinnen und Patienten sind das gute Aussichten.



Im 3D-Druck-Labor des Universitätsspitals Basel bestellen Ärztinnen und Ärzte patientenspezifische Modelle, die ihnen bei der Vorbereitung von Eingriffen helfen.

Schon bald sollen im Basler 3D-Druck-Labor neben den Modellen auch einsatzfähige Implantate gefertigt werden.





Im Büro, am Strand, auf dem Waldspaziergang, in einer Gruppendiskussion: Auf gute Ideen kommen Forschende wie Francesco Stellacci, Christina Warinner und Pierre Stallforth (von links) fast überall.

Im 19. Jahrhundert, als Werner Siemens das dynamo-elektrische Prinzip entdeckte und damit die moderne Elektrotechnik begründete, basierten Erfindungen oft auf einem «Geistesblitz»: Einzelne, «geniale» Persönlichkeiten wie der Siemens-Gründer hatten eine neue Idee und realisierten sie in kürzester Zeit. Wie ist das heute, wie kommen Forschende im 21. Jahrhundert auf innovative Ideen?

Die Forschungsprojekte, die die Werner Siemens-Stiftung unterstützt, verfolgen überraschende, innovative Ansätze. Paradebeispiel dafür sind die Molekulararchäologin Christina Warinner und der Biotechnologe Pierre Stallforth aus Jena. Die beiden haben sich zusammengetan, um nach einer Lösung für die zunehmenden Antibiotika-Resistenzen zu suchen. An einem Ort, wo noch nie nach antibiotischen Wirkstoffen gesucht wurde: im Mund von Urzeitmenschen.

Ähnlich unkonventionell geht der Materialwissenschaftler Francesco Stellacci an der École polytechnique fédérale de Lausanne das Problem viral übertragener Krankheiten an. Er will sowohl ein Breitbandmedikament als auch spezifische Medikamente gegen unterschiedliche Viren entwickeln. Sein Forschungsansatz überträgt Erkenntnisse aus der Materialwissenschaft auf die Medizin: Ein künstliches Molekül soll Viren «einfangen» und mittels hydrophober Kräfte «zerdrücken».

Wie kommt man auf derart innovative Ideen? Ein Gespräch mit der Professorin Christina Warinner und den Professoren Pierre Stallforth und Francesco Stellacci.

«Zeit und Raum zu haben, ist das Wichtigste»

In welcher Phase Ihrer Karriere waren Sie am innovativsten?

Christina Warinner: Als Studentin hatte ich am meisten Freiheit. Ich belegte an der University of Kansas alle Kurse, die mich interessierten: mittelägyptische Hieroglyphen, Physik, organische Chemie, Mikrobiologie, Archäologie der Kelten. Das kostete mich ein zusätzliches Jahr, doch nach meinem Doktorat in anthropologischer Archäologie war dieses ureigene Verfolgen meiner Interessen sehr nützlich. So arbeitete ich als Postdoktorandin an der Universität Zürich in einem neugegründeten Institut, wo ich zwei Jahre lang keinen Vorgesetzten in meiner Forschungsgruppe hatte und selbst Ideen entwickeln musste. Ich musste bei den anderen anklopfen

«Der Austausch mit Expertinnen oder Experten aus einem anderen Feld öffnet die Augen für Lücken in der eigenen Argumentation.»

Christina Warinner

und ihre Einschätzung erfragen. Zu Beginn ängstigte mich diese Freiheit ein wenig, doch mit der Zeit merkte ich, dass es eine grosse Chance war. Ich fand an einem Ort DNA- und Protein-Spuren, wo man bis anhin geglaubt hatte, dass dort nichts zu finden sei – im Zahnstein prähistorischer Menschen.

Francesco Stellacci: Auch bei mir war die Postdoc-Phase sehr kreativ und inspirierend. So war es naheliegend, dass eine Professur erstrebenswert war, da man sich dann ganz dem Forschen widmen können. Doch mit der Professur kommen auch viele Pflichten, Personalaufgaben, Projektmanagement, Administration. Das ist kontraproduktiv, denn die Arbeit des Forschens ist ähnlich kreativ wie jene von Künstlerinnen und Künstlern. Aus der Musikbranche weiss man, dass sich Kreativität nicht auf Kommando abrufen lässt – im Stil von: jedes Jahr ein neues Album herausbringen.

Doch einen solchen Takt gibt man uns Professorinnen und Professoren vor – mit dem Zwang, regelmässig relevante Forschungsergebnisse zu publizieren.

Ist eine Professur also nicht die beste Ausgangslage für innovatives Forschen?

Pierre Stallforth: Erst wenn man sich etabliert hat. Dann kann man wegrücken vom Zwang, alles und möglichst häufig zu publizieren. Und: Grosszügige Geldgeber wie die Werner Siemens-Stiftung nehmen einem die Sorge und die zeitraubende Suche nach Finanzierungsmöglichkeiten. Dann muss man nicht mehr jeden Tag beweisen, dass man das Geld wert ist, das in einen investiert wurde.

Sind junge oder ältere Forschende innovativer?

Stellacci: Es ist erwiesen, dass man im fortgeschrittenen Alter weniger Ideen hat – aber man ist sehr viel besser, Verbindungen herzustellen. Umgekehrt in jungen Jahren: Dann sprudeln die Ideen. Deshalb sollten Nachwuchsforschende stärker in den etablierten Wissenschaftsbetrieb involviert werden, etwa mithilfe von «Paten» oder Mentorinnen. Die Kreativität der Jungen muss in eine fruchtbare Richtung gelenkt werden.

Warinner: Das stimmt. Als ich als Postdoktorandin mit dem neuen Messgerät so unerwartet erfolgreich war, erhielt ich eine Liste bakterieller Arten und musste jeden Bakteriennamen googeln. Ich verfügte plötzlich über eine riesige Menge prähistorischer DNA, wusste aber noch nichts über das orale Mikrobiom; ich kannte nicht einmal das Wort.

Hatten Sie nie Zweifel, dass Ihr innovativer Ansatz sich als Sackgasse entpuppen könnte?

Stellacci: Alle Forschenden zweifeln, das ist normal. Ich startete 2010 mit der Suche nach Antivirotika, es lief gut, ich publizierte dazu, aber immer eigenfinanziert. Fünf Jahre später bekam ich vom Schweizerischen Nationalfonds Unterstützung, doch als die endete, sah es danach aus, als müsste ich das Projekt aufgeben. Dann kam 2020 die Corona-Pandemie, und die WSS sagte mir ihre Unterstützung zu.

Ist eine sichere Finanzierung der Innovation förderlich?

Stallforth: Es gibt eine interessante Beobachtung aus der Theoretischen Physik: In den 1950er-Jahren waren russische Physiker enorm erfolgreich und innovativ – und sie hatten nur Stift und Papier ...

Stellacci: ... richtig, doch sie mussten auch nur ein, zwei begabte Studierende betreuen und eine einzige Lehrveranstaltung bestreiten. An diesem Beispiel sieht man schön, wie entscheidend es ist, Zeit zu haben, um innovativ zu sein.

Stallforth: Andererseits ist gerade in der Paläobiotechnologie eine gute technische Infrastruktur unabdingbar. Ohne Geräte für das Sequenzieren könnten wir keine raschen Fortschritte erzielen – und die heutige Hochtechnologie ist einfach sehr teuer.

Stellacci: So ist es. Auch die russischen Physiker aus den 1960er-Jahren scheiterten letzten Endes daran, dass zu wenig Geld für die Erforschung ihrer Ideen zur Verfügung stand. Wer innovativ sein will, braucht ein Wissenschaftssystem, das Innovation will, braucht und finanziell unterstützt.

Herr Stallforth, war Ihre innovative Idee eine plötzliche Eingebung oder ist sie die Frucht jahrelanger Arbeit?

Stallforth: Wer heutzutage nach neuen Antibiotika sucht, muss zwangsläufig innovativ sein, denn es steht nur eine beschränkte Anzahl potenzieller «Fundorte» zur Verfügung: Man kann in neuen Organismen oder in neuen Habitaten danach suchen. In den letzten fünfzehn Jahren etwa hat man zwar neue chemische Verbindungen aus Bakterien gefunden, die zum Beispiel in Symbiose mit Insekten leben. Aber meistens stossen wir auf bereits bekannte Substanzen. Das schreit förmlich danach, neue, innovative Wege zu beschreiten.

Ihr innovativer Ansatz entstand also «systembedingt». Doch wie kamen Sie darauf, ausgerechnet in der Urzeit des Menschen nach antibiotischen Wirkstoffen zu suchen?

Stallforth: Als ich Christina Warinner und ihre Forschungsarbeit kennen-



Hartnäckigkeit zahlt sich aus: Francesco Stellacci (links), Pierre Stallforth und Christina Warinner im Gespräch über Ideen und Innovation.

lernte, 2018 an einem Exzellenzcluster-Treffen in Jena. Wir kamen ins Gespräch und merkten rasch, dass die Kombination unserer beiden Kerngebiete – molekulare Archäologie und Biotechnologie – ganz neue Dimensionen in der Antibiotika-Forschung eröffnet.

Warinner: Genau. Denn in der Frühzeit des Menschen existierten möglicherweise chemische Verbindungen, die es heute nicht mehr gibt – oder doch! Das möchten wir herausfinden. Es ist ein riesiges neues Feld, das viele Überraschungen birgt.

Was brachte Sie auf die Idee, dass die urzeitlichen Wirkstoffe «wiederbelebt» werden könnten?

Warinner: Zur Zeit meines Postdoktorats an der Universität Zürich gab es eine Publikation, die behauptete, es lasse sich in Zahnstein keine prähistorische DNA finden. Ich hatte meine Zweifel und überprüfte das. Meine ersten Experimente waren negativ. Doch Messungen mit einem neuen

Laborgerät ergaben, dass meine Experimente nicht deshalb gescheitert waren, weil es im Zahnstein keine DNA gibt, sondern weil darin so enorm viel DNA-Bruchstücke konserviert sind, die das alte Gerät überlasteten. Damit hatte niemand gerechnet.

Ihre Hartnäckigkeit zahlte sich aus.

Warinner: Ja. Zahnstein entpuppte sich als einzigartiges Fenster auf das Leben der Menschen vor Zehntausenden von Jahren.

Stallforth: Im oralen Mikrobiom der Frühmenschen haben wir bereits Biosynthese-Gene für potenziell neue Antibiotika und auch Resistenzgene entdeckt. Wir wissen nun, dass unsere Hypothese in die richtige Richtung geht.

Was braucht es noch, um eine innovative Idee auf einen guten Weg zu bringen?

Warinner: Es braucht einen Ort, wo man sich interdisziplinär austauscht, zusammenarbeitet, forscht, lehrt und sich weiterbildet. Die Einrichtung

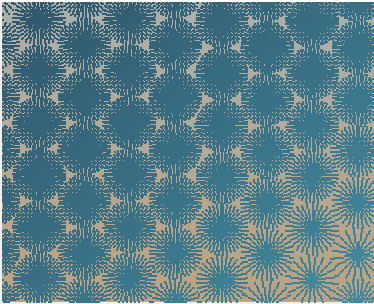
des Forschungsbereichs Paläobiotechnologie am Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie in Jena bildet einen solchen wunderbaren Rahmen.

Interdisziplinäre Forschung ist aber auch anspruchsvoll.

Stallforth: Das stimmt. Wir investierten gut ein Jahr, damit die Vertreter der beteiligten Disziplinen Anthropologie, Archäologie und analytische Chemie sich gegenseitig ihre Methoden, ihr Denken und ihre Techniken vorstellen konnten und sich besser verstanden. Das hat sich sehr gelohnt.

Francesco Stellacci, was war Ihre Motivation, sich als Materialwissenschaftler der Entwicklung von Medikamenten gegen Viren zu widmen?

Stellacci: An einem gewissen Punkt in meiner Karriere realisierte ich, dass die Wissenschaft zwar viele Erfolge erzielt, wir aber die Augen verschliessen vor grossen wiederkehren-



Update Paläobiotechnologie

Bioinformatische Meisterleistung

2022 war ein erfolgreiches Jahr für die Paläobiotechnologie. Pierre Stallforth wurde zum Professor ernannt, und er konnte mit Co-Projektleiterin Christina Warinner und ihren Teams in bestens ausgerüstete Laborräumlichkeiten im neuen HKI Biotech Center am Leibniz-Institut in Jena umziehen. Ihr selbst entwickeltes Analyse-Tool bewährt sich bei der Suche nach prähistorischer DNA: Bereits konnten sie einen ersten urzeitlichen Naturstoff im Labor rekonstruieren.

Die Werner Siemens-Stiftung finanziert seit 2020 in Jena das vielversprechende neue Forschungsfeld Paläobiotechnologie. Diese Unterstützung hat wie ein Katalysator eine positive Entwicklung angestoßen und dazu geführt, dass Forschungsleiter Pierre Stallforth Ende 2021 an der Friedrich-Schiller-Universität zum Professor für Bioorganische Chemie und Paläobiotechnologie ernannt wurde. Zudem leitet er die Abteilung Paläobiotechnologie am Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie (Leibniz-HKI) in Jena. Im April 2022 konnte das rund zwölfköpfige Kernteam der Paläobiotechnologie ausserdem in das neu gebaute HKI Biotech Center umziehen. «Hier können wir alle unter optimalen Bedingungen forschen», freut sich Stallforth.

Aus alter DNA Stoffe herstellen

In den letzten zwei Jahren haben sein Team und jenes der molekularen Archäologin und Co-Leiterin Christina Warinner bioinformatische Tools entwickelt, die aus riesigen Datenmen-

gen die prähistorischen Informationen herausuchen und von den zeitgenössischen unterscheiden können. Wird ein DNA-Fragment als prähistorisch identifiziert, müssen weitere dazugehörige DNA-Fragmente gefunden, richtig zusammengesetzt und zu einem sinnvollen bakteriellen Genom ergänzt werden. «Das ist eine bioinformatische Meisterleistung», so Stallforth. Das assemblierte Genom wird dann überprüft, ob es auch fehlerfrei ist. Falls ja, müssen die beiden Teams die Funktionen der Gene im Genom herausfinden. Dazu bringen die Teammitglieder aus Archäologie, Biotechnologie, Bioinformatik und organische Chemie ihre Einschätzungen ein. Forschungsleiter Pierre Stallforth: «Unser breiter Fokus auf den ökologischen und archäologischen Kontext ist sehr innovativ und neu.» Bereits konnte eine Verbindung aus Genomen von Bakterien, die vor 16 000 bis 100 000 Jahren existierten, erzeugt werden. Dazu wurden die Gene aus alter DNA effektiv «wiederbelebt». Eine Publikation dazu ist in

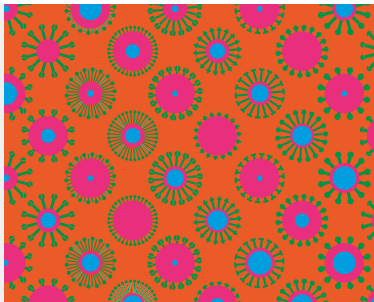
Planung. «Es ist natürlich toll, wenn wir bis zu 100 000 Jahre zurückgehen können. Wir wissen jetzt, welche DNA-Qualität wir benötigen und wo die Schwierigkeiten liegen», fasst Stallforth zusammen.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
10 Mio. Euro

Projektdauer 2020–2029

Projektleitung

Prof. Dr. Pierre Stallforth, Professor für Bioorganische Chemie und Paläobiotechnologie, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, und Leiter der Abteilung Paläobiotechnologie, Leibniz-Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie (Leibniz-HKI), Jena
Prof. Dr. Christina Warinner, Max-Planck-Institut für Evolutionäre Anthropologie, Jena und Leipzig; Leiterin Forschungsbereich «Archaeogenetics», Leibniz-HKI, Jena (D); Associate Professor, Harvard University in Cambridge, Massachusetts (USA)



Update Antivirotika

Zerdrückte Grippeviren

Materialwissenschaftler Francesco Stellacci und sein Team haben künstliche Moleküle entwickelt, die Viren vor dem Eintritt in die menschlichen Zellen mittels hydrophoben Drucks zerstören. Dieser innovative Ansatz hat sich im ersten präklinischen Test mit Mäusen als hochwirksam gegen Influenzaviren erwiesen. Auch wurden keine Nebenwirkungen beobachtet. Nun folgt eine lange Serie weiterer präklinischer Tests.

Langes Therapiefenster

Bereits hat eine unabhängige Prüfstelle in den USA die Toxizität des spezifischen Wirkstoffs gegen Grippeviren erfolgreich bei Mäusen getestet. Bei diesem ersten präklinischen Test wurden keine Nebenwirkungen beobachtet, auch bei mehrtägiger Gabe einer hohen Dosis. Ausserdem war das therapeutische Fenster sechsmal so lang wie beim

derzeit bekanntesten Grippemedikament Tamiflu. Der Start der präklinischen Tests war also erfolgreich. Doch wird die Organisation weiterer präklinischer Studien auch in den kommenden Jahren zu den Hauptaufgaben von Stellacci gehören. Bei Medikamenten für Menschen bleibt die Prüfung der Toxizität über Jahre eine anspruchsvolle, komplexe Aufgabe.

Tödliche Viren

Ein besonderes Anliegen ist Stellacci die Bekämpfung von Dengue-Fieber, das bei der ersten Infektion nicht besonders gefährlich verläuft, bei der zweiten Infektion jedoch in fast der Hälfte der Fälle zum Tod führt. Auch gegen Rota- und Noroviren, die Durchfall erzeugen und an denen in armen Ländern täglich Hunderte von Kindern sterben, wäre ein günstiges Medikament hilfreich. Wegen der Gefahren, die von Viren ausgehen, ist Stellacci überzeugt: Es braucht ein Zentrum für Virenforschung, wo die verschiedenen Viren von unterschiedlichen Forschungs-

gruppen breit erforscht werden. Denn solange es kein Antivirotikum gibt, besteht die Gefahr, dass sich eine Virenart dereinst so verheerend auf die menschliche Bevölkerung auswirkt wie das Pest-Bakterium im 14. Jahrhundert – als man noch keine Antibiotika kannte.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
5 Mio. Schweizer Franken

(2020–2021: Entwicklung Breitband-Antivirotikum)

4,5 Mio. Schweizer Franken

(2021–2023: Werner Siemens

Foundation Center for Antiviral

Research – WSS-CARe)

Projektdauer 2020–2023

Projektleitung

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

den Problemen wie Krieg, Erdbeben, Dürrekatastrophen oder Pandemien.

Und weshalb gerade die Idee, Antivirotika zu entwickeln?

Stellacci: An einer Konferenz berichtete ein Referent, dass weltweit jeden Tag tausend Kinder an Durchfall sterben, meist an den Nebenwirkungen einer Virusinfektion. Die Zahl hat sich mittlerweile halbiert, aber sie ist immer noch viel zu hoch, und wir unternehmen nichts dagegen. Das war für mich die Initialzündung, um mich des Problems der Viruserkrankungen anzunehmen.

Es war also eine bewusste Abwendung von den klassischen Fragestellungen der Materialwissenschaften?

Stellacci: Genau. Viren sind ja eigentlich die eleganteste und komplexeste Ansammlung von Material in der Natur, eine Ansammlung von Proteinen, DNA und Fettsäuren. Sie gelten nicht als Lebewesen, da sie auf eine Wirtszelle angewiesen sind, um sich zu vermehren.

Haben Sie sich schon früher für Virologie interessiert?

Stellacci: Ich interessiere mich für vieles, unter anderem auch für die physikalische Virologie. Dort untersucht man, wie man Viren in ihre Bestandteile zerlegt und wieder zusammensetzt, um kleinste Partikel in sie einzuschleusen. Ich dachte mir, wenn wir Viren zusammensetzen können, dann sollte es nicht so schwierig sein, sie zu zerstören. Zerstören ist immer einfacher als zusammensetzen.

Wann stellen Sie solche Überlegungen an?

Stellacci: Meistens, wenn ich allein bin, im Büro oder zuhause. Die Idee mit dem Zerstören von Virenmateri-

al kam mir in den Sommerferien am Strand in den Sinn. Ich hing meinen Gedanken nach und versuchte mir all die Prozesse vorzustellen, die ein Virus für sein Fortbestehen durchläuft. Irgendwann kam ich zum Schluss, dass es machbar sein sollte, es zu zerlegen. Zurück in meinem Büro, habe ich die Idee auf einem Blatt Papier skizziert und gedacht: Nun brauche ich Fachleute aus der Virologie, die bereit sind, mit mir, einem «Unwissenden», zusammenzuarbeiten.

Ein Geistesblitz oder eine plötzliche Eingebung können also doch innovative Ideen hervorbringen?

Warinner: Es gibt durchaus Aha-Erlebnisse, die einen weiterbringen. Ich habe sie jedoch meist nach einer Diskussion in der Gruppe. Jede und jeder formuliert seine Überlegungen, die Argumente fliegen hin und her, ohne Resultat. Wenn ich dann später darüber nachdenke, kann es passieren, dass es mir wie Schuppen von den Augen fällt: So muss es sein!

Wer eine innovative Idee hat, muss mit Unsicherheit umgehen können. Er oder sie weiss ja nicht, ob daraus was wird.

Stallforth: Ich liebte die unsichere Anfangsphase während der Etablierung der Paläobiotechnologie. Vermutlich, weil ich mich in meiner Karriere schon immer zwischen den Disziplinen – Chemie, Molekularbiologie, Physik, Mathematik, Mikrobiologie, Genetik – bewegt habe. Ich war nie der grosse Experte in nur einem Gebiet. Mit der Zeit begann ich, es zu mögen und ohne Scheu Fragen zu stellen, wenn ich etwas nicht verstand.

Stellacci: Ein Forscher ist wie ein Stürmer beim Fussball: Manchmal müht er sich 89 Minuten lang ab, ohne Erfolg. Aber wenn er in der letzten

Minute das entscheidende Goal schiesst, hat er seinen Job gut gemacht. Fazit: Pack die Gelegenheiten beim Schopf und lass dich nicht von den vielen Niederlagen unterkriegen!

Fassen wir zusammen: Was ist das Wichtigste, um innovativ forschen können?

Stellacci: Die meisten Innovationen entstehen, indem man über den eigenen Gartenzaun schaut und einen frischen neuen Ansatz wagt, an dem man dann feilt und poliert, bis er funktioniert.

Warinner: Um innovative Ideen zu entwickeln, braucht es vor allem Zeit und Raum – um zu denken, etwas auszuprobieren, einer Idee nachzugehen. Mich bringt der Austausch mit Expertinnen oder Experten aus einem anderen Feld am häufigsten auf neue Ideen. Er zwingt mich, über Aspekte nachzudenken, über die ich nie nachgedacht habe, ich erkenne leichter Lücken in meiner Argumentation. Es ist «enthüllend» und fruchtbar.

Stallforth: Eine einzelne Person vermag unsere aktuellen Probleme nicht

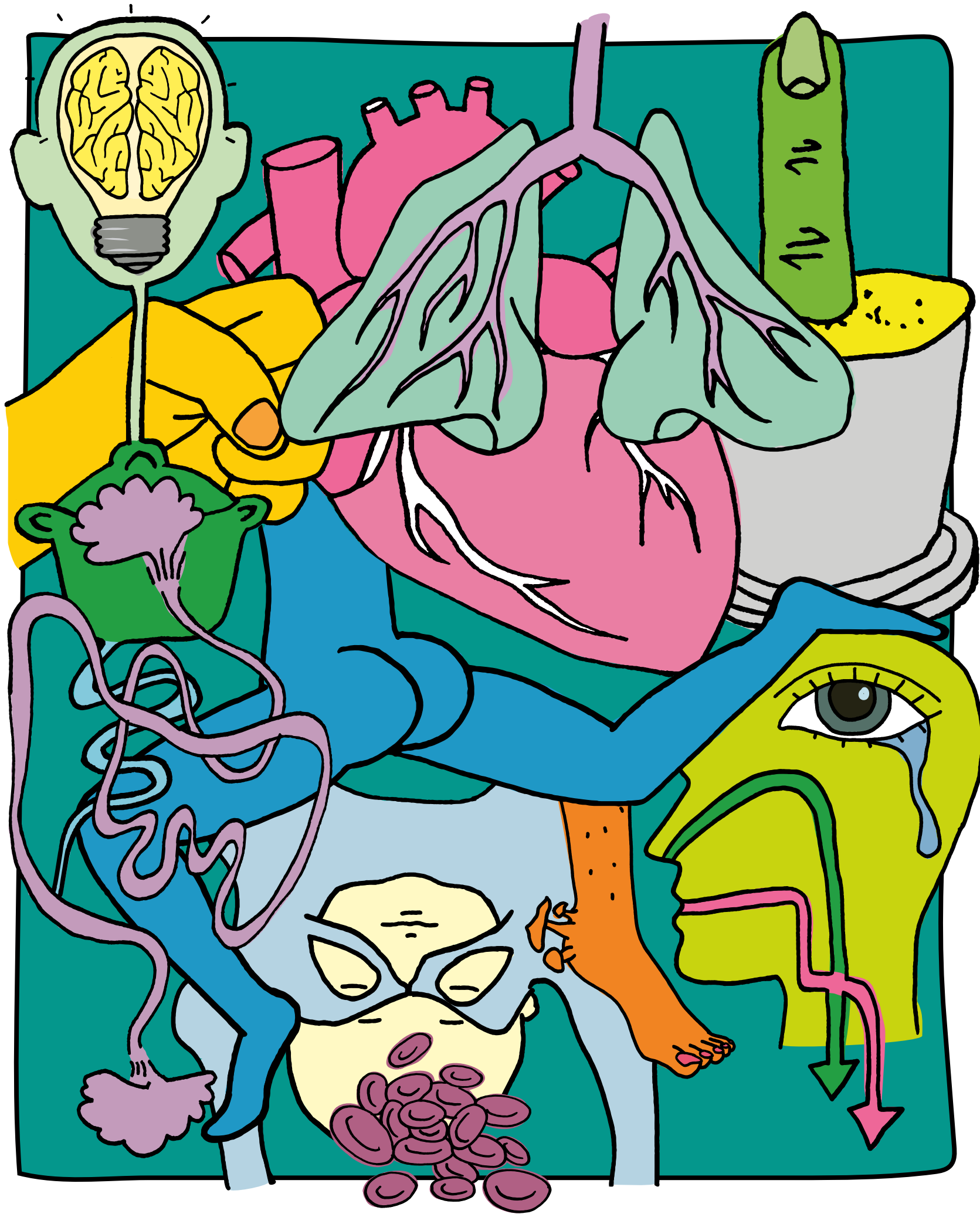
«Eine einzelne Person vermag unsere aktuellen Probleme nicht zu lösen.»

Pierre Stallforth

zu lösen. Innovation entsteht heute durch Interaktion, Zusammenspiel, persönlichen Austausch, durch die ehrliche Einschätzung und das konstruktive Beurteilenlassen einer Idee. Und dann geht es darum, die Machbarkeit zu prüfen – und zu entscheiden, ob sich der grosse Forschungsaufwand wirklich lohnt.

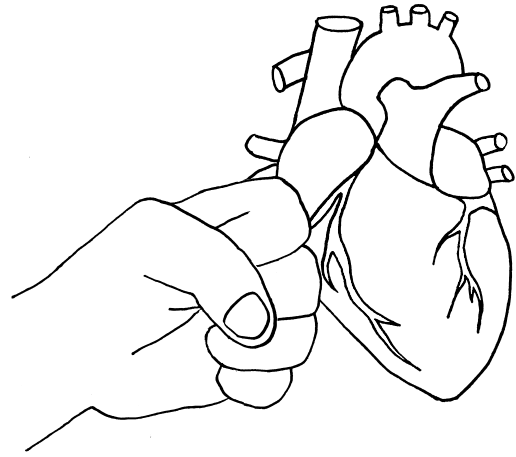
«Kreativität lässt sich nicht auf Kommando erreichen.»

Francesco Stellacci



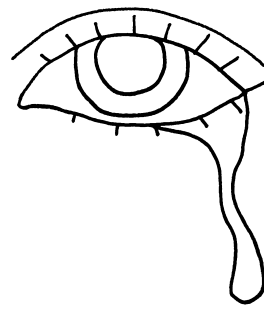
Zwölf kuriose Fakten zum menschlichen Körper

Die medizinische Forschung beschäftigt sich vor allem mit Fehlfunktionen im Körper. Doch der menschliche Organismus ist ein Wunderwerk der Natur, das voller Überraschungen steckt: Die Palette dieser Merkwürdigkeiten reicht von nachwachsenden Fingerkuppen und einem verkürzten Darm bis zu Riech-Rezeptoren in der Lunge und einem Bakterien-Zoo im Bauchnabel.



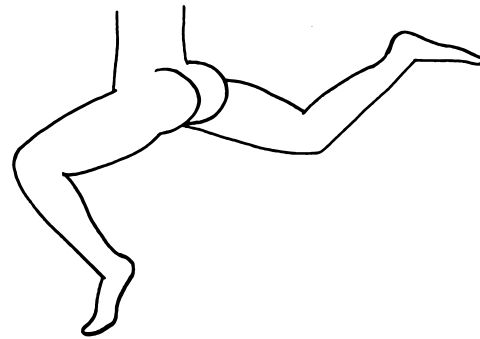
Ungesunde Wut

Ein Wutanfall lässt das Herzinfarkt-Risiko für einige Stunden um den Faktor acht steigen. Achtung, entgegen dem Volksglauben ist Dampf ablassen keine gute Strategie, im Gegenteil. Wer sich etwa an einem Boxsack abarbeitet, steigert damit seine Wut.



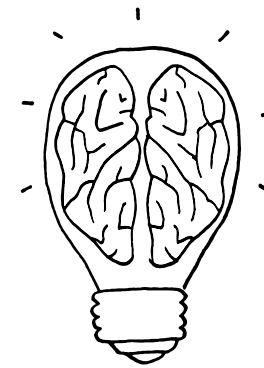
Anti-Sexuallockstoff

Weibliche Tränen dämpfen den männlichen Sexualtrieb. Experimente haben gezeigt: Männer sind weniger erregt, wenn sie den Duft von Frauentränen riechen – verantwortlich dafür ist offenbar ein bislang unbekannter und nicht bewusst wahrnehmbarer Botenstoff.



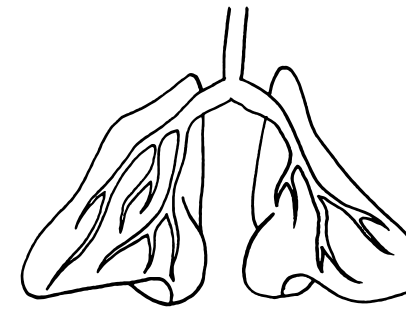
Der Läufer-Muskel

Im Vergleich mit anderen Primaten ist unser Po riesig. Der Gesässmuskel ist der grösste Muskel des Menschen – und er macht uns zu guten Läufern. Er liefert nicht nur Kraft, sondern auch Stabilität. Während andere zweibeinige Renner, etwa das Känguru, einen grossen Schwanz als Gegengewicht zum nach vorne geneigten Rumpf haben, übernimmt beim Menschen das Gesäss diese Aufgabe.



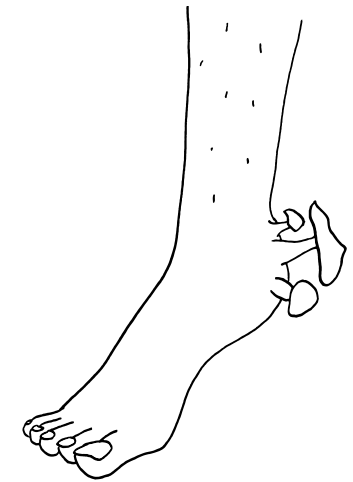
Unglaubliche Effizienz

Es stimmt, das Gehirn beansprucht einen ziemlich grossen Teil der Kalorien für sich, die wir mit der Nahrung aufnehmen. Trotzdem arbeitet es sehr effizient: Es verbraucht nicht viel mehr Energie als eine Sparlampe. Will man ein Menschenhirn in seiner ganzen Komplexität elektronisch simulieren, benötigt man den Strom mehrerer Atomkraftwerke.



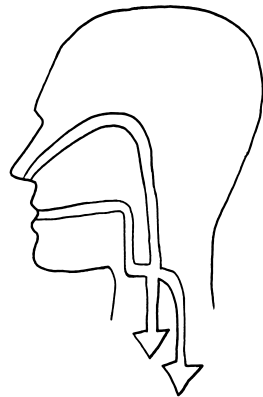
Die Lunge kann riechen

Nicht nur in der Nase, sondern auch in der Lunge gibt es Duft-Rezeptoren. Wir bekommen davon nichts mit, denn das Riechen dort unten geschieht völlig unbewusst. Nimmt die Lunge einen Giftstoff in der Luft wahr, so hat sie die Macht, die Atemwege vorübergehend zu blockieren. Dies geschieht ohne Einschalten des Gehirns und darum blitzschnell.



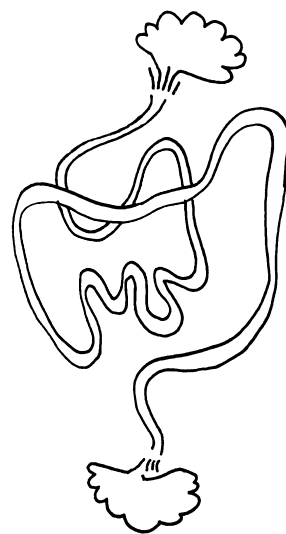
Fast ein Kleintierzoo

Die menschliche Haut ist auch ein Lebensraum. Achtzig Pilzarten leben im Schnitt auf einer Ferse, gut sechzig Bakterien-Arten im Bauchnabel. Im Gesicht der allermeisten Menschen hausen ein paar hundert winzige Milben. Sie ernähren sich von unserem Talg und sind völlig harmlos.



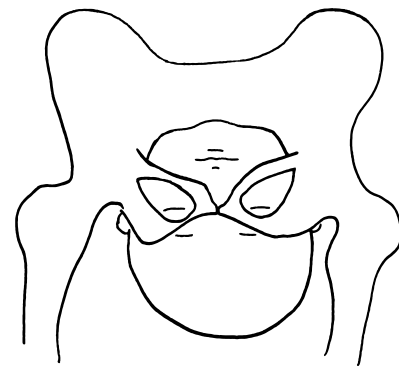
Die Kreuzung im Hals

Im Schlund kreuzen sich die Wege von Luft und Nahrung. Im dümmsten Fall, wenn wir uns verschlucken, kann ein Bissen in die Luftröhre gelangen – keine ganz seltene Todesursache. Diese Fehlkonstruktion ist eine Folge des Landgangs unserer tierischen Vorfahren, der eine Trennung von Nahrungsaufnahme und Atmung erforderte. Fische atmen Wasser, sie kennen das Problem nicht.



Luft im Darm

Nur 30 Prozent aller Darmgase stammen aus der Verdauung – der grosse Rest ist Luft, die wir beim Essen und Trinken verschlucken. Das allermeiste Gas wird von der Darmwand aufgenommen, zur Lunge transportiert und mit der Atemluft ausgeschieden. Nur ein kleiner Teil nimmt den hinteren Ausgang. Der Durchschnittsmensch produziert täglich 15 Darmwinde à 40 Milliliter.



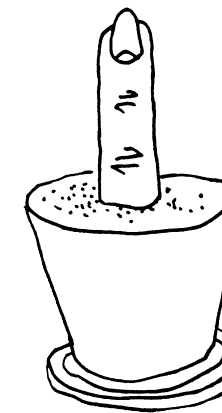
Das Geburtsdilemma

Zwei typische Merkmale des Menschen passen schlecht zusammen: der aufrechte Gang und das grosse Gehirn. Denn der aufrechte Gang erfordert ein schmales Becken, die Geburt von grossköpfigen Kindern hingegen ein breites. Im Mittel ist der Geburtskanal 2,5 Zentimeter zu eng, was die Passage des Babys zu einer schmerzhaften Angelegenheit macht. Früher war eine hohe Müttersterblichkeit die Folge – heute behilft man sich mit dem Kaiserschnitt.



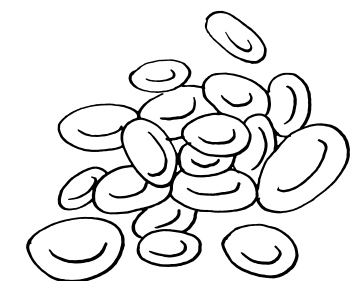
Externe Verdauung

Der menschliche Darm ist nur gut halb so gross wie bei Primaten vergleichbarer Grösse. Wir können uns das leisten, weil wir das Kochen erlernt haben. Auch der vergleichsweise kleine Kiefer ist eine Folge davon, dass wir einen Teil der Verdauung in die Küche verlegt haben. Unangenehme Nebenwirkung: Es ist eng im Mund, die Weisheitszähne haben kaum Platz.



Nachwachsende Finger

Nein, wie Salamander ganze Beine ersetzen, wenn eines abgefallen ist, das beherrschen Menschen nicht. Aber immerhin: Bei kleinen Kindern wachsen abgetrennte Fingerkuppen narbenfrei nach, wenn man die Wunde nicht vernäht. Packt man den Fingerstumpf in eine Spezialfolie, so kann die Regeneration mit etwas Geduld auch bei Erwachsenen gelingen.



Die Blutkörperchen-Fabrik

Das Knochenmark bildet jede Sekunde mehr als zwei Millionen rote Blutkörperchen – das ergibt 200 Milliarden pro Tag. Die gleiche Anzahl wird entsorgt. Der Verschleiss ist darum so hoch, weil ein Blutkörperchen jede Minute einmal den gesamten Blutkreislauf durchläuft und dabei Sauerstoff anliefert und Kohlendioxid abtransportiert.

Forschung mit Durchblick

Der menschliche Körper steckt noch immer voller Geheimnisse, eine Blackbox ist er aber nicht mehr. Die medizinische Bildgebung zeichnet ein immer genaueres Bild davon, was in Zellen und Geweben abläuft. Die Versprechen für unsere Gesundheit sind gross. Das zeigen zwei innovative Forschungsprojekte, die von der Werner Siemens-Stiftung unterstützt werden.





Mithilfe einer 3D-Brille und Virtual-Reality-Technik wollen Forschende des Projekts MIRACLE II künftig in den Körper von Patientinnen und Patienten schauen.

Ein Zufallsfund revolutionierte vor 127 Jahren die Medizin. Am 8. November 1895 experimentierte der deutsche Physiker Wilhelm Conrad Röntgen in seinem Labor mit einer Kathodenstrahlröhre. Als er Strom durch die mit dicker, schwarzer Pappe umhüllte Röhre schickte, entdeckte er ein Leuchten auf einem Objekt, das er auf dem Experimentiertisch hatte liegen lassen. Seine Apparatur produzierte also Strahlen – und diese Strahlen konnten selbst schwarze Materialien durchdringen! Röntgen experimentierte weiter. Am 22. Dezember 1895 durchleuchtete er die Hand seiner Frau und hielt das Bild auf einer Fotoplatte fest. Es zeigt den Ehering und die Handknochen in all ihren Details. Röntgens Entdeckung war etwas Unglaubliches für die Medizin: Plötzlich konnten Ärztinnen und Ärzte in den Körper hineinschauen, ohne ihn aufschneiden zu müssen.

Die neue Technik verbreitete sich wie ein Lauffeuer: Bereits im Januar 1896 fertigte die Wiener Universitätsklinik erste medizinische Röntgenbilder an. Im selben Jahr gründete der schottische Arzt John Macintyre in Glasgow die erste radiologische Abteilung in einem Spital – ein Jahr später verfügten sämtliche schottischen Spitäler über ein Röntgengerät. In Deutschland und in den USA erschienen erste radiologische Fachzeitschriften. 1901 erhielt Wilhelm Röntgen den zum ersten Mal verliehenen Nobelpreis für Physik.

Das Röntgenverfahren basiert darauf, dass dichte Gewebe die Strahlen stärker absorbieren als weniger dichte.

Je höher die Unterschiede zwischen Gewebetypen, desto aussagekräftiger werden die Bilder. Besonders geeignet sind Röntgenaufnahmen deshalb unter anderem bei Knochenverletzungen.

In den Jahrzehnten nach Röntgens Entdeckung wurde die Technik immer ausgefeilter – unter anderem durch das Einsetzen von Kontrastmitteln. In den frühen 1970er-Jahren ermöglichte die aufkommende Informatik die Einführung der Computertomografie (CT). Dabei rotieren die Röntgenquelle und der Detektor um die Patientin herum und die entstehenden Schnittbilder verschiedener Gewebeschichten werden zu einem Gesamtbild zusammengesetzt.

Bahnbrechende Methoden

In dieselbe Zeit fällt die Entwicklung der bahnbrechenden Magnetresonanztomografie (MRT). Dabei werden Wasserstoffatomkerne, sogenannte Protonen, mittels eines starken Magnetfelds ausgerichtet und durch Radiowellen zum Schwingen angeregt. Die Energie, die sie dabei aussenden, wird aufgefangen, ausgewertet und von einem Rechner in Bilder umgewandelt. Weil dabei keine Röntgenstrahlen benötigt werden, gilt diese Untersuchungsmethode als besonders schonend und gesundheitlich unbedenklich. Zudem liefert die MRT ein kontrastreicherer Bild von Weichteilen im Körper und ist deshalb für die Untersuchung vieler innerer Organe besser geeignet als das Röntgen.

In den letzten Jahrzehnten hätten sich diese Methoden stetig weiterentwickelt, sagt Philippe Cattin, Professor für Medizinische Bildanalyse und Leiter des Department of Biomedical Engineering (DBE) an der Universität Basel. «Die Auflösungen sind immer besser geworden, die Strahlungsbelastungen immer kleiner.» Cattin ist Co-Projektleiter des von der Werner Siemens-Stiftung seit 2015 unterstützten Projekts MIRACLE und dessen Nachfolgers MIRACLE II. Das MIRACLE-Team baut einen Chirurgieroboter, mit dem von Krebs befallene oder bei Unfällen zersplitterte Knochen in Zukunft mittels eines Lasers minimalinvasiv operiert werden können (siehe auch Text Seite 25).

Um solche Laser-Operationen genau planen und überwachen zu können, haben Cattin und sein Team ein Virtual- und Augmented-Reality-System namens SpectoVR entwickelt. Diese Navigationssoftware verknüpft medizinische Daten wie CT- oder MRT-Aufnahmen, rechnet sie um und bildet sie dreidimensional ab. Mithilfe von 3D-Brillen kann die Ärztin regelrecht in den Körper des Patienten eintauchen und Gewebeteile, Knochen oder auch Blutgefässe von allen Seiten betrachten. So lassen sich Eingriffe genauer, sicherer und rascher planen. Das System wird bei einigen Eingriffen am Universitätsspital Basel bereits standardmässig eingesetzt.

Sensoren im Endoskop

Im letzten Jahr hat das MIRACLE-Team einen Meilenstein erreicht. Es präsentierte den Medien erstmals ein System, in dem die einzelnen, neu entwickelten Technologien miteinander verknüpft wurden zu einem modular aufgebauten Roboter. Noch gibt es viel zu tun, bis das System für den Eingriff am lebenden Menschen bereit ist. Bei SpectoVR etwa arbeiten die Forschenden daran, haptische Komponenten zu integrieren – die Operateure sollen künftig ein Gewebe oder eine Bruchstelle nicht nur ansehen, sondern auch ertasten können.

Wichtig ist auch, dass die Chirurgin während der Operation den Überblick über das Geschehen im Körper behält. Das ist schwierig, wenn das Operationsinstrument ein Laser ist, der in eine nur wenige Millimeter breite Endoskop-Spitze integriert ist. Cattin will das Endoskop deshalb mit hauchdünnen Fasern ausstatten. Die Fasern sind mit optischen Sensoren versehen, die in Echtzeit Informationen zur Position und zur Krümmung des Endoskops liefern. Diese Daten werden ins Navigationssystem eingespeist und in die 3D-Brille übermittelt. Sie unterstützen die Chirurgin während der Operation bei ihren Entscheidungen.

Bildgebende Verfahren sind aber nicht nur für die Behandlungen wichtig. Sie bringen auch die medizinische Forschung voran. Philippe Cattin nennt ein Beispiel: «Neue Medikamente gegen Multiple Sklerose versprechen eine Verkleinerung der Läsionen im Hirn, die typisch sind für die Erkrankung. Ob sie wirken, lässt sich aber nur beurteilen, wenn man Methoden hat, um die Grösse dieser Entzündungsherde in klinischen Tests ganz genau zu messen.»



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 vorgeschneitten 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, Leiter des Department of Biomedical Engineering (DBE), Universität Basel
Prof. Dr. mult. Florian M. Thieringer, Chefarzt für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie und Leiter der Swiss MAM Forschungsgruppe am DBE, Universitätsspital Basel
Prof. Dr. Georg Rauter, Leiter des Bio-Inspired Robots for MEDicine-Lab (BIRO-MED-Lab) am DBE, Universität Basel



Professor André Martins (Mitte) untersucht am Werner Siemens Imaging Center mit modernsten bildgebenden Methoden die Stoffwechselaktivität von Krebsgeweben.

Das Werner Siemens Imaging Center in Tübingen ist unter anderem ausgerüstet mit mehreren hochmodernen PET-Scannern.



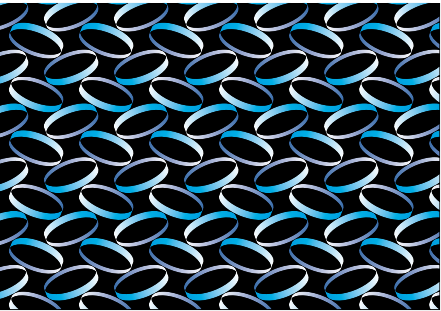
Innovative bildgebende Methoden für präklinische Forschung und für klinische Untersuchungen entwickelt das Werner Siemens Imaging Center (WSIC) an der Universität Tübingen. Die Werner Siemens-Stiftung unterstützt diese Forschung seit 2007. Inzwischen ist das 2014 gegründete Zentrum auf eine Grösse von rund 90 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gewachsen. Sein Ziel: Mittels bildgebender Methoden besser verstehen, wie Krankheiten entstehen, sich entwickeln und sich im Körper verbreiten, um sie besser behandeln zu können. Das Spektrum reicht dabei von der Onkologie, Neurologie und Kardiologie bis zur Immunologie.

Ein wichtiges Verfahren, mit dem die Forschenden am WSIC arbeiten, ist die Positronen-Emissions-Tomografie (PET). Damit lassen sich physiologische und biochemische Vorgänge im lebenden Körper abbilden. Dazu bedient man sich schwach radioaktiver, biologisch aktiver Substanzen, sogenannter Tracer, die man in den Organismus einbringt. Die Tracer sind für eine bestimmte Aufgabe designt – zum Beispiel, um Krebszellen aufzuspüren. Die Verteilung der Tracer im Körper kann dann mittels Schnittbilder sichtbar gemacht werden. In der medizinischen Forschung wird intensiv nach solchen Tracern gesucht.

Klinische Studien mit Tracern

In Tübingen hat beispielsweise die Gruppe von Professorin Kristina Herfert in enger Zusammenarbeit mit der MODAG GmbH und dem Max-Planck-Institut für Multidisziplinäre Naturwissenschaften in Göttingen einen Tracer entwickelt, der sich an ein Protein namens Alpha-Synuclein bindet. «Von diesem Protein weiss man, dass es sich im Lauf von neurodegenerativen Erkrankungen, insbesondere Parkinson, in unlöslichen Ansammlungen im Gehirn ablagert», sagt Herfert. Der Tracer könnte also bei der Erkennung von Parkinson helfen. «Bisher gibt es keinen PET-Tracer, der eine frühe Diagnose und die Nachverfolgung neuer Therapieansätze von Parkinson ermöglicht», sagt Herfert. Im letzten Jahr wurde ihr Biomarker in Primaten daraufhin getestet, ob er für klinische Tests am Menschen infrage kommt. «Die Daten sehen sehr vielversprechend aus», sagt Herfert. Nun laufen die Vorbereitungen für eine erste klinische Studie.

Bereits einen Schritt weiter ist die Gruppe von WSIC-Leiter Professor Bernd Pichler. Sie hat bereits vor gut zehn Jahren damit begonnen, einen Tracer zu entwickeln, mit dem sich «schlafende» (seneszente) Tumorzellen im Körper aufspüren lassen. «Seneszenz ist ein Phänomen, bei dem Tumorzellen zwar weiterleben, aber aufhören sich zu teilen», sagt Pichler. Das klingt positiv. Doch solche Zellen setzen auch Substanzen frei, die andere Tumorzellen dazu anregen, stärker zu wachsen. Deshalb versucht man, seneszente Zellen zum richtigen Zeitpunkt mit Medikamenten zu zerstören – und so zu verhindern, dass bereits gebremste Tumore wieder anfangen zu wachsen. Der Seneszenz-Tracer hilft, diesen Zeitpunkt zu erkennen. Bereits hat Pichlers Team die



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 wirkt.

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

Phase I einer klinischen Studie erfolgreich abgeschlossen. «Nun sind wir mitten in einer Phase-2-Studie», erzählt er. «Die Daten zu den Tumorpatientinnen und -patienten sehen sehr ermutigend aus; es wäre weltweit das erste Mal, dass Seneszenz beim Patienten in vivo erfasst werden könnte.»

Daneben hat Pichlers Forschungsgruppe erfolgreich mit der Entwicklung einer ganzen Palette von weiteren Tracern begonnen. Sie sollen dereinst sogenannte Immuntherapien bei Krebspatienten verbessern. Bei sogenannten CAR-T-Zelltherapien beispielsweise wird der Patientin Blut entnommen, um im Labor die körpereigenen Abwehrzellen des Immunsystems so zu modifizieren, dass sie die Krebszellen besser erkennen und bekämpfen. Danach werden sie per Infusion wieder in den Körper gebracht. «Solche Therapien können bis zu 400 000 Euro kosten», sagt Pichler. «Sie haben viele Nebenwirkungen und leider wirken sie längst nicht immer.» Mit Tracern für individuelle Immunzellen, so hoffen die Forschenden, wird man in Zukunft herausfinden können, ob eine bestimmte Immuntherapie bei einer Patientin anschlägt oder nicht.

Den Stoffwechsel sichtbar machen

WSIC-Gruppenleiter André Martins, 2022 von der Tübinger Universitätsleitung zum Professor ernannt, versucht ebenfalls, die Therapieresistenz von Tumoren vorauszusagen. Er untersucht vor allem die Stoffwechselaktivität in und um Krebsgewebe. «Ein Krebs ist wie eine Gesellschaft von Zellen, in der Anarchie eine der treibenden Kräfte ist», sagt Martins. «Wir wollen verstehen, wie sich die Stoffwechselaktivität verändert, wenn sich Krebszellen zu aggressiveren Typen entwickeln.» Seine Gruppe tut dies unter anderem mit der Methode der hyperpolarisierten Bildgebung. Sie verändert den magnetischen Zustand eines Stoffwechselmoleküls, sodass es im Magnetresonanztomografen bis zu 100 000 Mal sichtbarer wird. Momentan, sagt Martins, seien mehrere Publikationen in der Pipeline, die auf dieser oder anderen metabolischen Bildgebungsmethoden beruhen – zum Beispiel auf hybriden metabolischen PET/MRI-Messungen oder auf der pH-Bildgebung. Mit einer Methode namens quantitativer Deuterium-Stoffwechsel-Bildgebung finden unter Martins' Leitung gar die ersten klinischen Versuche in Europa statt.

Der Schwerpunkt von Professorin Bettina Weigelin wiederum liegt auf der mikroskopischen Untersuchung von Krebszellen und ihrer Interaktion mit dem Immunsystem. «Die Mikroskopie ist für Krebsuntersuchungen äusserst nützlich», sagt Weigelin, «denn letztlich ist Krebs eine zelluläre Erkrankung.» Gleichzeitig aber bleiben Tumore oft nicht auf einen Körperteil beschränkt, sondern befallen andere Gewebe oder Organe. Weigelins Gruppe arbeitet an der Entwicklung von Techniken, die es erlauben, grössere Gewebeteile oder gar ganze Organe in Modellorganismen abzubilden – und gleichzeitig die hohe mikroskopische Auflösung beizubehalten. «Oft wirken Therapien in einigen befallenen Organen besser

als in anderen. Wir wollen diese Unterschiede verstehen und so die Grundlage legen für verbesserte Therapien in fortgeschrittenen Krebsstadien.»

Weigelin nutzt dazu hochmoderne Geräte wie ein Intravitalmikroskop und ein Lichtblatt-Mikroskop. Mit Letzterem könne man grosse Gewebestücke scannen und 3D-Rekonstruktionen erstellen, sagt die Forscherin. Der Trick dazu: Mit einem Cocktail von Chemikalien werden die Farbstoffe aus dem Organ herausgelöst und die Lichtbrechungsindices der Organbestandteile in Übereinstimmung gebracht. «Dann können wir quasi durch ein Organ hindurchschauen und es im Ganzen mikroskopieren.» In den letzten zwei Jahren hat ihre Gruppe es geschafft, die nötigen Techniken zum Laufen zu bringen. «Das ist ein Erfolg. Nun starten wir mit dem Sammeln biologischer Daten.»

Enorme Datenmengen

Die gleichzeitige Erfassung von immer grösseren Körperteilen sei einer der wichtigsten Fortschritte in den bildgebenden Methoden der letzten Jahrzehnte, sagt Bernd Pichler. «Wir können heute von der sehr lokalen Zellebene bis zur Ganzkörper-Bildgebung gehen.» Das sei enorm hilfreich, um systemische Krankheiten besser zu verstehen, bei denen der ganze Körper betroffen ist. Die dafür nötige Kombination verschiedener Methoden und Techniken sei ein wichtiges Forschungsgebiet der Zukunft. Eine Herausforderung, die Pichler sieht: Können die enormen Datenmengen, die dabei entstehen, überhaupt noch ausgewertet werden? «Das maschinelle Lernen wird in den nächsten Jahren sehr wichtig werden in unserem Forschungszweig.»

Wie hochmoderne bildgebende Verfahren aus der Spitzenforschung dereinst der Gesundheit des Menschen dienen, lässt sich nicht genau vorhersagen. Doch irgendwann werden einige von ihnen auch in der medizinischen Praxis ankommen. Philippe Cattin hält die Magnetresonanztomografie mit tieferen Magnetfeldern, die sogenannte Lowfield-MRT, für eine vielversprechende Kandidatin. «Das Interessante an diesem Verfahren ist, dass man dafür keine speziellen Räume mehr bräuchte wie bei MRT mit starken Magnetfeldern», sagt Cattin, «man könnte ein solches Gerät zum Beispiel ins Spitalbett einbauen oder in einen Ambulanzwagen.» Das wäre nicht nur bequemer für die Patientinnen und Patienten, sondern würde auch raschere Diagnosen und bessere Behandlungen ermöglichen. «Die Symptome einer Hirnblutung beispielsweise sind die gleichen wie jene bei einem verstopften Blutgefäss», gibt Cattin zu bedenken. «Doch während der Patient bei der Verstopfung möglichst schnell Blutverdünner benötigt, wäre dieser bei einer Blutung fatal.»

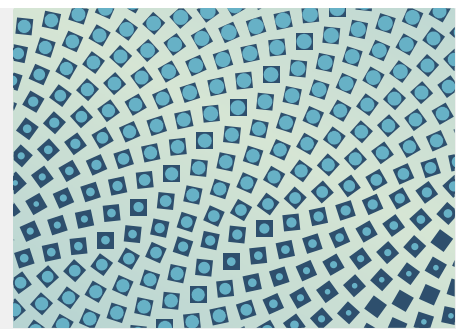
Ein genauerer Blick in den Körper könnte also künftig auch in der Akutmedizin Leben retten.



Die medizinische Bildgebung wird immer präziser. Neue Techniken braucht es für die Auswertung der enormen Datenmengen.

Erschöpfung messbar machen

Der Informatiker Pietro Oldrati erhält ein MedTech-Entrepreneur-Fellowship der Universität Zürich. Er will eine digitale Messplattform für Menschen, die unter Erschöpfungszuständen leiden, zur Marktreife bringen.



MedTechEntrepreneur-Fellowship

Die Universität Zürich (UZH) unterstützt mit den UZH Entrepreneur-Fellowships talentierte Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftler, die ein Unternehmen gründen wollen, das auf Forschungserkenntnissen basiert. Dank der finanziellen Unterstützung der Werner Siemens-Stiftung werden seit 2018 auch Projekte in der Medizintechnik gefördert. Seit Beginn des Programms haben insgesamt 18 Nachwuchsforschende ein MedTechEntrepreneur-Fellowship der UZH erhalten. Bereits sind sechs Jungunternehmen daraus entstanden.

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

Chronische Erkrankungen gehen oft einher mit unterschiedlichen Symptomen. Ein häufiges und oft unterschätztes ist die sogenannte Fatigue – oder deutsch: Erschöpfung oder Müdigkeit. Patientinnen und Patienten mit Multipler Sklerose, Krebs, rheumatischen Erkrankungen oder mit Long Covid fühlen sich oft körperlich oder geistig völlig erschöpft und kraftlos. Selbst Schlaf und Ruhe bringen ihnen keine Erholung. Viele haben Mühe, ihren Alltag zu bewältigen. «Sie müssen ihre Aktivitäten einschränken und ihre Arbeitszeit reduzieren – ihr Leben verändert sich völlig», sagt Pietro Oldrati.

Oldrati ist Informatiker und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Universitätsspital Zürich. Er beschäftigt sich seit seiner Masterarbeit im Jahr 2018 mit der Entwicklung neuer Methoden, um solche Erschöpfungszustände messbar zu machen – in erster Linie bei Multipler Sklerose (MS). Bis zu 95 Prozent aller MS-Patientinnen und Patienten leiden an Fatigue, viele bezeichnen es als das belastendste Symptom ihrer Krankheit überhaupt.

«Trotzdem», sagt Oldrati, «versteht die Medizin nicht, wie Fatigue entsteht und wie man sie behandeln kann.» Denn Erschöpfungszustände sind schwer zu fassen. Ihre Ausprägung ist von Patientin zu Patient unterschiedlich – und es gibt bisher keine Methoden, um die Schwere der Symptome objektiv zu messen. Normalerweise füllen Betroffene einen Fragebogen aus. «Aber Empfindungen und Erinnerungen sind subjektiv», sagt Oldrati. Zudem würden die Befragungen oft nur einmal pro Jahr durchgeführt. «Doch Erschöpfungszustände schwanken, sie sind einmal stärker, einmal schwächer.»

Mit Smartphone und Wearables

Der junge Wissenschaftler ist deshalb überzeugt, dass man Fatigue häufiger und genauer messen muss, um sie zu verstehen – und letztlich Therapien zu finden. Heute, sagt er, bleibe Ärztinnen und Ärzten oft nichts anderes übrig, als Betroffenen zu einer Ernährungsumstellung zu raten oder ihnen Medikamente wie Ritalin zu verschreiben, die

eigentlich für dieses Krankheitsbild nicht zugelassen sind.

Gemeinsam mit einem Team von Neurologen und Informatikerinnen am Universitätsspital Zürich plant Pietro Oldrati, eine digitale Plattform zur Erschöpfungsmessung aufzubauen. Ihre Instrumente sind das Smartphone und sogenannte Wearables – elektronische Geräte wie Smartwatches oder Fitnessarmbänder, die am Körper getragen werden und Daten aufzeichnen.

Muster zuordnen – bis zur Ermüdung

Für das Projekt hat Oldrati im Frühjahr 2022 ein MedTechEntrepreneur-Fellowship zugesprochen erhalten. Dieses von der Werner Siemens-Stiftung finanzierte Förderprogramm der Universität Zürich beinhaltet ein Stipendium von 150 000 Schweizer Franken. Zudem werden die Fellows von erfahrenen Coaches auf dem hindernisreichen Weg zur Firmengründung beraten und über Stolpersteine aufgeklärt. Sie erhalten Zugang zum «UZH Incubator Lab» und sind Teil eines Netzwerks aus aktuellen und ehemaligen Geförderten.



Pietro Oldrati entwickelt ein System, das Erschöpfungszustände von chronisch Kranken objektiv misst. Smartphone und Fitnessarmband zeichnen dafür Körperdaten auf.

Drei Messmethoden haben die Forschenden für ihre Plattform konzipiert: Die erste ist eine App für Patientenbefragungen – diese erlaubt eine häufigere Datenerfassung als die bisherigen Erhebungen in der Arztpraxis. Die zweite Messung sind Tests auf dem Smartphone, um die Ermüdung während einer Aufgabe zu erfassen. Ein Beispiel dafür ist ein fünfminütiger Test, bei dem es gilt, bestimmte Muster möglichst rasch der richtigen Vorlage zuzuordnen. «Weil der Test die Patientinnen und Patienten ermüdet, geht ihre Leistung mit der Zeit zurück», erklärt Oldrati. «Das ist objektiv messbar – und Menschen mit Fatigue zeigen einen stärkeren Leistungsabfall.»

Unregelmässiger Herzschlag

Schliesslich werden Messungen direkt am Körper durchgeführt. Ein Messband am Oberarm dient einerseits als Schrittzähler und zeichnet andererseits die Zeitintervalle zwischen zwei Herzschlägen auf. «Bei Patientinnen und Patienten mit Multipler Sklerose

oder anderen Krankheiten ist diese Herzfrequenzvariabilität oft gestört», sagt Oldrati.

Er ist überzeugt, dass die Verknüpfung der drei Messmethoden genaue Einblicke in die Erschöpfungszustände kranker Menschen erlauben wird, ohne dass damit die Patientinnen und Patienten allzu stark beansprucht werden. Damit das System auf dem Markt bestehen kann, muss es allerdings nicht bloss Fatigue verlässlich nachweisen. «Ärzte müssen es auch einfach in den Therapiealltag integrieren können», sagt Oldrati. Falls das gelingt, ist das Potenzial gross – für das geplante Start-up und für dauererschöpfte Menschen.

Gewebeersatz der Zukunft

Neu unterstütztes Projekt TriggerINK

Gesunder Knorpel dank Bio-Tinte

Wie bringt man Knorpel in beschädigten Gelenken zum Nachwachsen? Diese Frage stellt sich das von der Werner Siemens-Stiftung neu unterstützte Projekt TriggerINK am DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien in Aachen. Ein Laborbesuch zeigt: Es braucht neue Materialien, modernste Techniken – und Teamarbeit.



Das TriggerINK-Leitungsteam: Prof. Andreas Herrmann, Prof. Stefan Hecht, Prof. Laura De Laporte, Prof. Matthias Wessling (von links).



Laura De Laporte (links) und ihre Mitarbeitenden sind spezialisiert darauf, für medizinische Anwendungen aus neuartigen Materialien komplexe Strukturen natürlicher Gewebe herzustellen.

Die besten Tüftlerinnen und Forscher sind Eigenbrötler, heisst es zuweilen. Sie sitzen in ihren Kämmerchen und brüten über einem Problem, bis sie es mit einem Geistesblitz gelöst haben. Manche grossen Fragen unserer Zeit mögen auf diese Weise gelöst worden sein. Andere Forschungsvorhaben aber sind schlicht zu komplex, als dass jemand sie alleine meistern könnte.

Für ein solches Grossprojekt haben sich in Aachen vier Forschungsgruppen des DWI – Leibniz-Instituts für Interaktive Materialien zusammengetan. Ihr Projekt TriggerINK, das die Werner Siemens-Stiftung seit 2022 für einen Zeitraum von fünf Jahren mit insgesamt 10 Millionen Euro unterstützt, zielt darauf ab, eine visionäre Methode zur Knorpel-Regenerierung zu entwickeln.

Geleitet wird das Vorhaben von Laura De Laporte, Mitglied der wissenschaftlichen Leitung des DWI und Professorin für Advanced Materials and Biomedicine an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen. Komplettiert wird das Team durch ihre RWTH-Kollegen Stefan Hecht, Wissenschaftlicher Direktor des DWI und Professor für Makromolekulare Chemie, Andreas Herrmann, stellvertretender Wissenschaftlicher Direktor des DWI und Professor für Makromolekulare Materialien und Systeme, sowie Matthias Wessling, Mitglied der wissenschaftlichen Leitung des DWI und Professor für Chemische Verfahrenstechnik. Darüber hinaus begleitet und berät ein Team externer Experten das Projekt.

TriggerINK zielt auf eines der häufigsten Gesundheitsprobleme unserer Zeit: Gelenkschmerzen. Die Gründe für Gelenkschmerzen sind vielfältig, doch besonders oft leiden Menschen an Knorpelverschleiss (Arthrose) oder Meniskusschäden im Knie. In Deutschland hat jede fünfte Person in ihrem Leben schon einmal eine Arthrose diagnostiziert bekommen – Tendenz steigend. Denn die Menschen werden älter, und die Zahl der Übergewichtigen steigt.

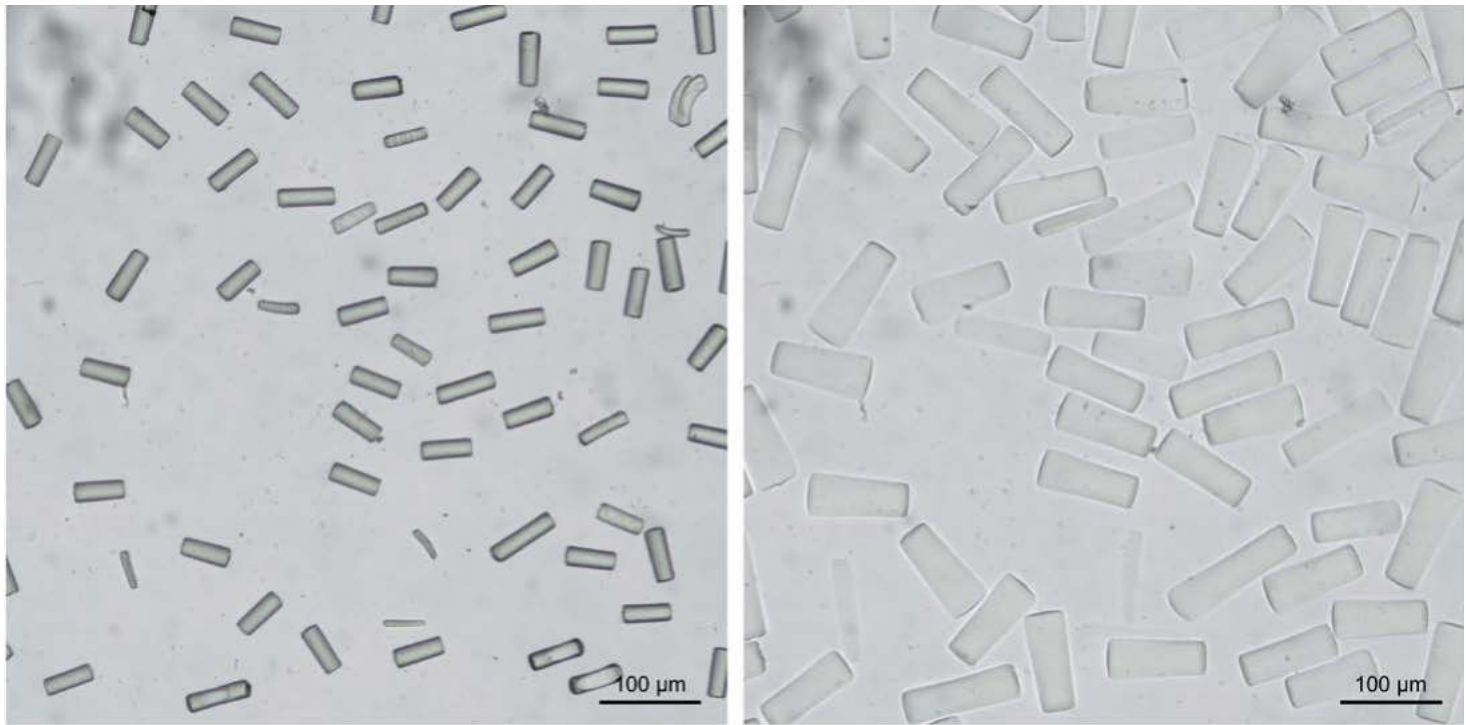
Verschiedene Knorpelschichten

Menisken und Knorpel übernehmen wichtige Aufgaben im Gelenk: Sie verteilen den durch Bewegung ausgeübten Druck, dämpfen Stösse ab und ermöglichen es den Knochen, mit geringer Reibung und hoher Geschwindigkeit aneinander entlangzugleiten. Abgenutztes oder beschädigtes Knorpelgewebe wächst nicht von selbst nach. Zwar gibt es Verfahren wie die Knorpeltransplantation und einige Substanzen, die dem Aufbau des Gewebes helfen sollen. Jedoch sind solche Eingriffe zum Teil sehr teuer oder nur bei wenigen Menschen anwendbar – und ihr Erfolg ist nicht garantiert.

Eine grosse Schwierigkeit heutiger Regenerationsmethoden sei es, die richtige Struktur des Knorpelgewebes zu erzeugen, sagt Laura De Laporte. Der Knorpel im Kniegelenk etwa besteht aus verschiedenen Zonen: Direkt über dem Knochen bildet er eine feste Schicht mit einer vertikalen Mikrostruktur, durch die nur ganz lang-



Auf Objektträgern lässt sich die Hydrogel-Konsistenz prüfen.



Die in der Bio-Tinte enthaltenen, durch Licht in der Grösse veränderlichen Mikropartikel unter dem Mikroskop.

sam neue Knochenstammzellen hindurchgelangen. Darüber folgt eine grosse mittlere Hauptschicht mit einer eher zufällig ausgerichteten Zellstruktur. Ganz aussen schliesst eine glatte Schicht das Gewebe ab – ihre Zellen und Zellbestandteile sind horizontal ausgerichtet. «Jedes Gewebe und jede Struktur in unserem Körper hat eine klar definierte Ausrichtung», sagt Laura De Laporte. «Deshalb ist es bei einer Geweberegeneration entscheidend, das Zellwachstum in die richtige Richtung zu lenken.»

Ein ausgeklügelter Plan

Um ein schnelles und gerichtetes Zellwachstum zu erreichen, nutzt TriggerINK eine breite Palette an ausgeklügelten, hochmodernen Verfahren. Folgende Schritte sind geplant, um das Knorpelwachstum anzuregen:

- Auf den gesäuberten Knorpel des Patienten drückt ein 3D-Drucker schichtweise ein neu entwickeltes Hydrogel. Dabei handelt es sich um eine gelatineartige Substanz, die zum grossen Teil aus Wasser, zu einem kleineren Teil aus einem biokompatiblen Polymer besteht. Diese «Bio-Tinte» ist äusserst porös. Sie bildet eine Art Stützgerüst, durch dessen Kanäle das körpereigene Knorpelgewebe nachwachsen kann.
- Das Hydrogel ist vollgepackt mit Partikeln, welche für das Zellwachstum auf die eine oder andere Art wichtig sind. So gibt es darin magnetische Stäbchen mit einem Durchmesser von zwei bis fünf und einer Länge von ungefähr 50 Mikrometern. Solange das Hydrogel-Gerüst noch nicht starr ist, lassen sie sich mithilfe eines niedrigen externen Magnetfeldes ausrichten. Sie dienen dazu, die Wachstumsrichtung der Knorpelzellen zu kontrollieren: Die Zellen spüren den Widerstand dieser Stäbchen und wachsen parallel zu deren Ausrichtung.
- Ins Hydrogel integriert werden auch Partikel, die Wachstumsfaktoren oder Entzündungshemmer enthalten. Der Clou: Mittels Ultraschall können die Forschenden die Partikel dazu anregen, diese Substanzen lokal zu bestimmten Zeitpunkten freizusetzen. So lässt sich beispielsweise kontrollieren, wann das Gewebewachstum angeregt werden soll.
- Eine letzte Zutat im Hydrogel sind Mikropartikel, die sich mittels eines Lichtsignals von aussen verändern lassen. Je nach Signal verändern die Partikel ihre Grösse. Dieses Schrumpfen und Anschwellen der Partikel versetzt die umliegenden Gewebezellen in Bewegung. Von solchen Bewegungen wird angenommen, dass sie den Heilungsprozess beschleunigen können.

Wie viel Forschung und wie viel interdisziplinäre Zusammenarbeit es braucht, um diesen Plan in die Tat umzusetzen, zeigt ein Laborrundgang am DWI. Es fällt auf: Viele Komponenten des Grossprojekts TriggerINK sind schon nach nur einem Jahr auf einem sehr guten Weg. Eine Bio-Tinte beispielsweise hat die Forschungsgruppe von Laura De Laporte bereits konstruiert. «Wir wissen, dass Körperzellen dieses Hydrogel lieben und gut darin wachsen», sagt sie. Im Körper der Patientin oder des

Patienten müssen sich die Polymerstäbchen des Hydrogels miteinander zu einer festen, gitterähnlichen Struktur verbinden. Allerdings darf die Verkettung erst dann geschehen, wenn die magnetischen Stäbchen im Gel richtig ausgerichtet sind. Es braucht deshalb eine Möglichkeit, um den Verkettungsprozess von aussen in Gang zu setzen.

An dieser Steuerung arbeitet die Forschungsgruppe von Stefan Hecht. Eine Idee ist es, mit chemischen Methoden ganz bestimmte Moleküle als eine Art Schutzkappe an die Enden der einzelnen Hydrogel-Polymerstäbchen zu heften, damit sie sich nicht verkneten, bis die Magnetstäbchen korrekt ausgerichtet sind. Dann lassen sich die Schutzkappen-Moleküle mit einem Lichtpuls von den Hydrogel-Enden lösen, worauf die Polymere sich miteinander verbinden. Ein Problem dieses Vorgehens: Die gelösten Schutzkappen-Moleküle verbleiben als Nebenprodukte im Körper. «Es ist schwierig vorauszusagen, ob und wie sie mit anderen Stoffen reagieren», sagt Stefan Hecht.

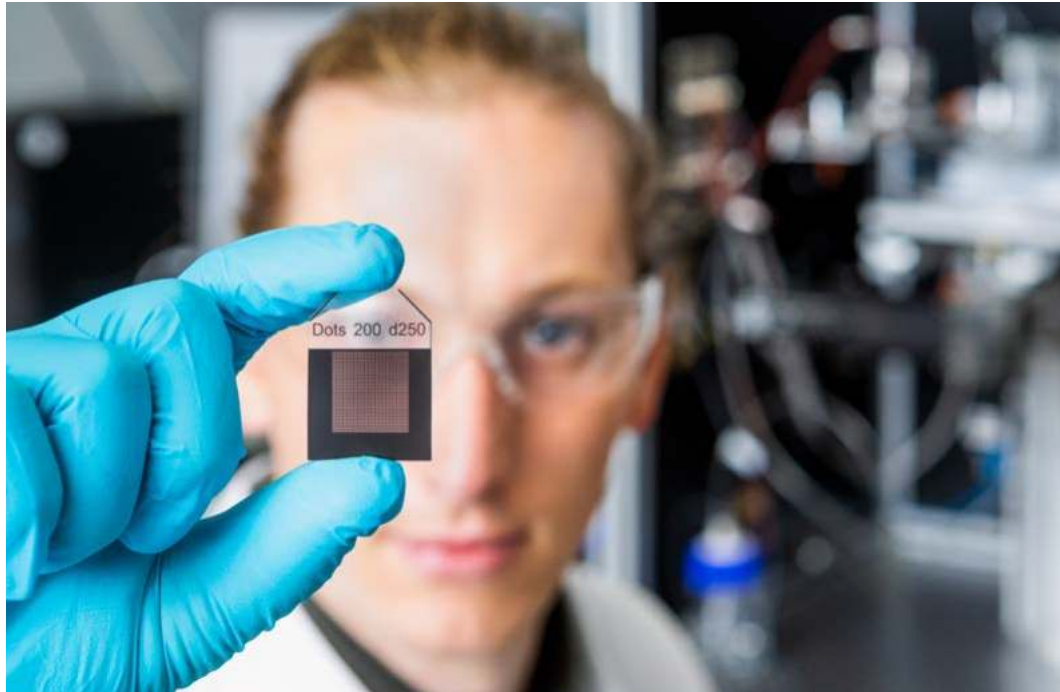
Er und seine Mitarbeitenden forschen deshalb an einer innovativen Alternative: sogenannten molekularen Photoschaltern. Dafür synthetisieren sie ganz bestimmte Moleküle, die ihre Form und ihre Eigenschaften verändern, wenn sie mit Licht bestrahlt werden. Das hat den Vorteil, dass es keine zusätzlichen Schutzkappen-Moleküle braucht. Die Synthese solcher Photoschalter-Moleküle ist komplex. Aber Stefan Hecht sieht sein Team auf einem guten Weg. «Das System funktioniert – und die Synthesen zu verbessern und zu beschleunigen ist die Kernkompetenz von uns Chemikerinnen und Chemikern», sagt er.

Produzieren und modellieren

Die Produktion der magnetischen Stäbchen in der Bio-Tinte wiederum ist das Metier der Forschungsgruppe von Matthias Wessling. Wie die Bio-Tinte selbst bestehen auch die Mikrostäbchen aus einem Hydrogel. Sie sind versetzt mit Nano-Magnetpartikeln. Hergestellt werden sie mit einer Maschine, welche die Verfahrenstechnikerinnen und Verfahrenstechniker um Wessling selbst entworfen haben. Das Polymer fliesst durch feine Schläuche und wird dann in bestimmten Regionen mittels UV-Licht ausgehärtet. Stop-Flow-Lithographie nennt sich dieses Verfahren.

Mithilfe von Schablonen lassen sich aus dem Hydrogel nicht nur Stäbchen, sondern alle möglichen Formen bilden. «Wir haben die Stop-Flow-Methode in den ersten Projektmonaten bereits deutlich weiterentwickeln können», sagt Matthias Wessling. Unter anderem steht bereits eine neue, verbesserte Produktionsmaschine in den Startlöchern.

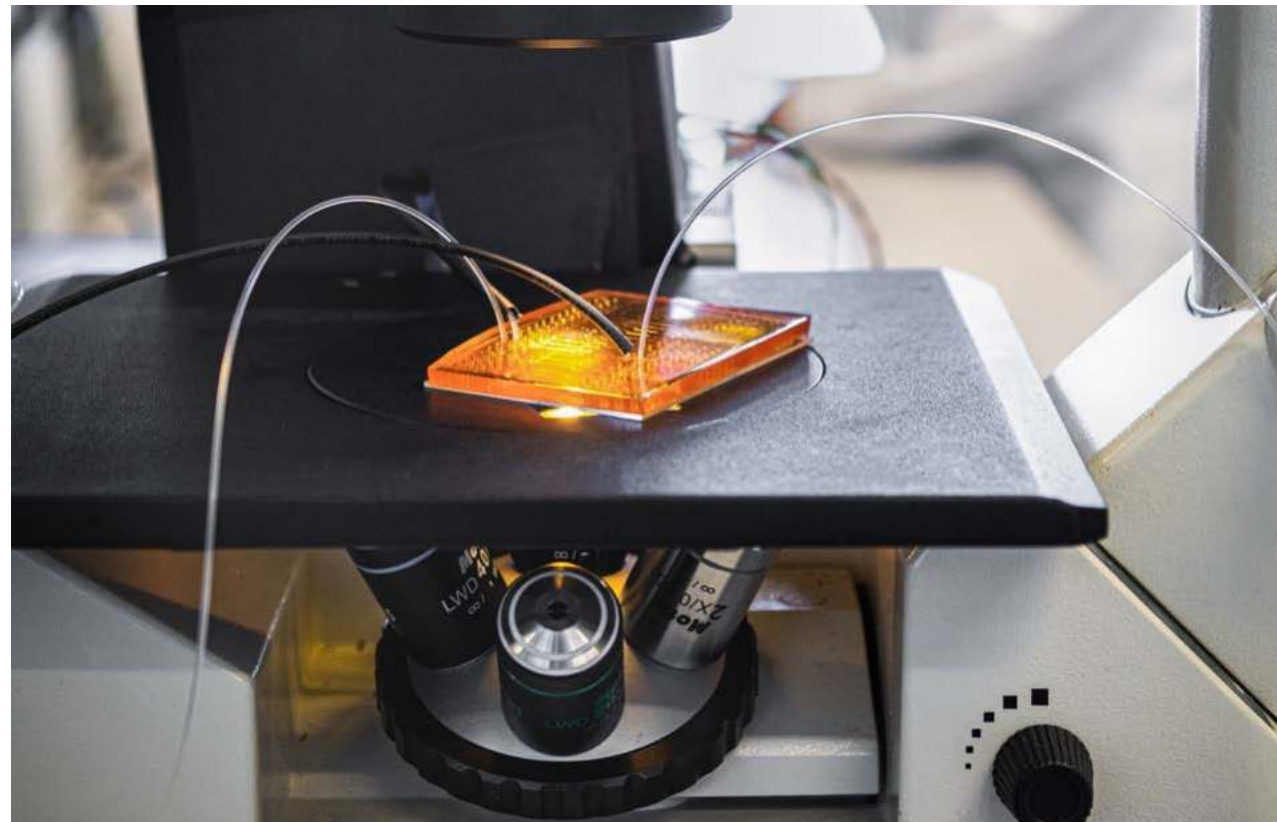
Die produzierten Stäbchen und Teilchen werden laufend auf ihre Eigenschaften untersucht. Modellierungen sollen unter anderem zeigen, wie sie sich verhalten, wenn man sie in der Bio-Tinte mit einer Kanüle in den Körper bringt. Sammeln sie sich an einer Grenzschicht an? Wie beeinflussen sich Stäbchen und Tinte gegen-



Kleine Schablonen helfen dabei, mit der Stop-Flow-Lithographie Hydrogel-Partikel in den verschiedensten Formen herzustellen.



Mit einem Handultraschall-Gerät können die Forschenden speziell präparierte Moleküle aktivieren – im Reagenzglas und im Gewebe von Versuchstieren.



Aus dickflüssigem Polymer und Öl entstehen im Labor Mikrogel-Tropfen, die mittels Licht in unterschiedlichen Formen ausgehärtet werden.

seitig? Solche Fragen müssen geklärt sein, um keine unliebsamen Überraschungen zu erleben. Dazu ist eine intensive Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Arbeitsgruppen nötig.

Die Früchte dieser Arbeiten lassen sich in einem anderen Labor bestaunen. Ein Mitarbeiter von Laura De Laporte gibt mit magnetischen Stäbchen versetzte Bio-Tinte in eine Petrischale. Er hält zwei Magneten an die Schale – und durch das Mikroskop erkennt man, wie sich die Stäbchen alle in dieselbe Richtung gedreht haben. Dann wird die Tinte ausgehärtet. Darauf kommt eine neue Schicht, deren Nanostäbchen in eine andere Richtung ausgerichtet werden. So lassen sich die verschiedenen Knorpelschichten simulieren, deren Zellschichten unterschiedliche Ausrichtungen haben.

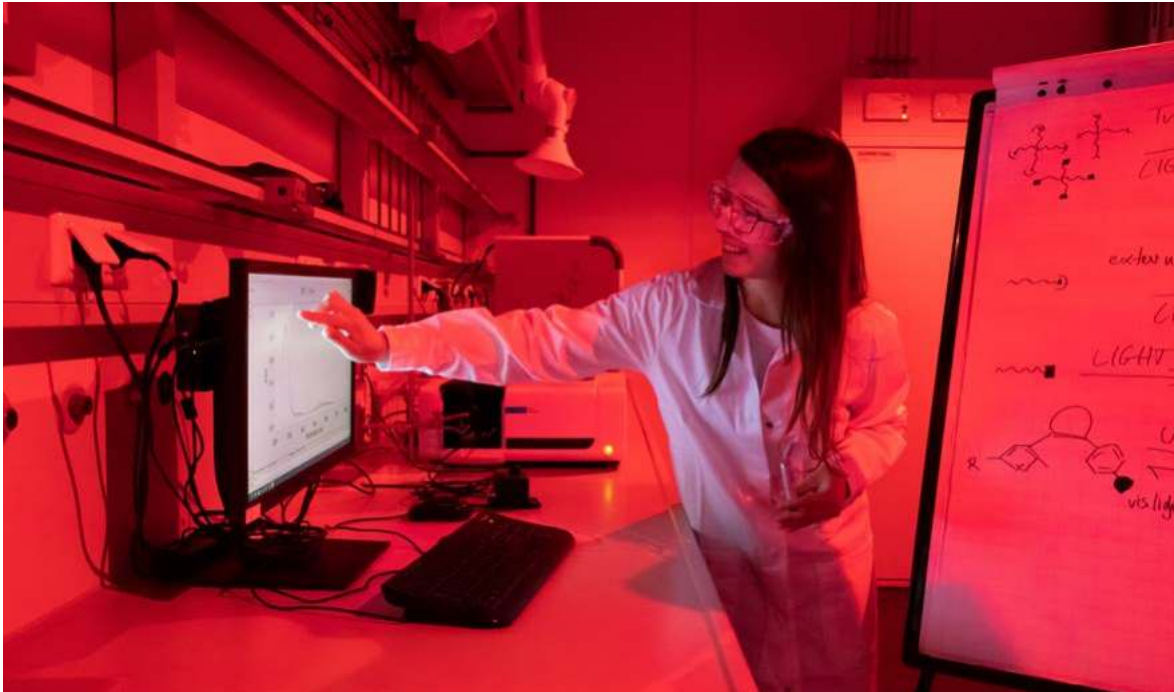
Wachsen auf Kommando

Für den nächsten Schritt im TriggerINK-Gefüge sind Andreas Herrmann und seine Forschungsgruppe zuständig. Sie nutzen Ultraschall, um die Freisetzung biologischer Wirkstoffe von aussen zu steuern. Im Fall von TriggerINK werden dies Wachstumsfaktoren und Entzündungshemmer sein. Diese Moleküle werden mit Trägerpartikeln versehen, die sich durch mechanische Kräfte verändern lassen. Die Anwendung des Ultraschalls führt dazu, dass die Trägerpartikel die Wachstumsfaktoren oder Entzündungshemmer tief im Gewebe freigeben – genau zur gewünschten Zeit und am richtigen Ort.

«Ein Problem dieser Aktivierung war bislang, dass man hohe Ultraschall-Intensitäten benötigt hat», sagt Andreas Herrmann. Einer seiner Studenten demonstriert dies im Labor. Er gibt eine durchsichtige Flüssigkeit in ein Röhrchen und stellt es in ein kastenförmiges Hochleistungs-Ultraschallgerät. Durch den Schalldruck verfärbt sich die Flüssigkeit bläulich. Doch während des Vorgangs muss der Forscher entweder einen Gehörschutz tragen oder den Raum verlassen.

Für die Praxis kommen solch hohe Schalldrücke deshalb nicht infrage. «Doch kürzlich ist uns ein Durchbruch gelungen», erzählt Andreas Herrmann. «Wir haben gezeigt, dass wir auch mit viel weniger starkem Ultraschall Enzyme im Körper anschalten können.» In kranken Mäusen aktivierten die Forschenden mit einem Handultraschall-Scanner Immunzellen und verkürzten auf diese Weise die Heilungsphase der Tiere.

Fehlt noch der letzte Bestandteil der zukünftigen knorpelheilenden Bio-Tinte: die schrumpfenden und anschwellenden Mikrogel-Teilchen, die mechanische Reize auf die Zellen ausüben. Diese Partikel werden im Labor von Laura De Laporte hergestellt – mithilfe einer speziellen Technik, bei der eine kontrollierte Emulsion entsteht. In winzigen Kanälen bildet die dickflüssige, wässrige Polymer-Lösung kleine Tropfen, wenn sie mit Öl zusammengebracht wird. Je nach Flüssigkeitseigenschaften, Kanalgröße und Strömungsbedingungen ergeben sich unterschiedliche Tropfenformen. Die Trop-



Ein bisschen Magie aus dem Chemielabor: Manche Moleküle, sogenannte Photoschalter, können ihre Eigenschaften ändern, wenn man sie mit Licht bestrahlt.



Der Blick auf den Bildschirm zeigt: Das Wachstum der Bio-Tinte lässt sich wie gewünscht durch ein Stützgerüst aus magnetischen Stäbchen lenken.

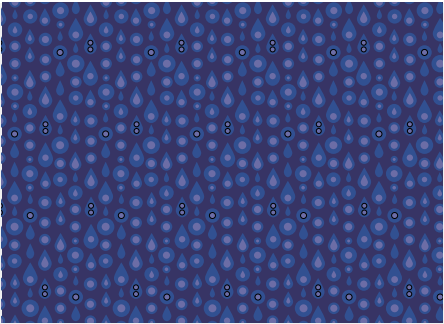
fen werden im Kanal mit Licht beleuchtet und härten in der entsprechenden Form als Mikrogel aus. Ziel der Forschenden ist es, eine ganze Bibliothek solcher Mikrogel-Formen herzustellen und sie auf ihre Eigenschaften zu testen. «Welche Kräfte für unser Projekt am geeignetsten sein werden, wissen wir noch nicht», sagt Laura De Laporte.

Bewegung bringt Heilung

Die Mikrogele funktionieren wie winzig kleine Schwämme. In der Bio-Tinte sollen sie durch Infrarot-Lichtimpulse, die tief in das Gewebe eindringen, zum Kollabieren gebracht werden. Sie wringen sich selbst aus – und werden kleiner. Durch das Schrumpfen versetzen sie das umliegende Hydrogel und die wachsenden Gewebe in Bewegung, was den Heilungsprozess beschleunigt.

Noch liegt die Knorpelheilung durch das TriggerINK-System in weiter Ferne. Doch bereits beginnen die einzelnen Teilprojekte zusammenzuwachsen. Erste Experimente zeigen beispielsweise, dass die magnetischen Stäbchen in der Bio-Tinte tatsächlich die Richtung des Zellwachstums beeinflussen. Nachdem die Stäbchen in eine bestimmte Richtung ausgerichtet wurden, durften die Zellen für einige Tage weiterwachsen. Unter dem Mikroskop, das zeigt eine letzte Station auf dem Laborrundgang, lässt sich beobachten, wie das Wachstum der Zellen entlang der Stäbchen verläuft.

Das ambitionierte TriggerINK-Projekt ist also sehr gut angelaufen. Dazu trage auch bei, dass man mit Arne Lücken einen hervorragenden Projektkoordinator gefunden habe, sagt Laura De Laporte. Er hat unter anderem die Aufgabe, die einzelnen Forschungsgruppen oder Subgruppen je nach Fragestellung und Teilprojekt zusammenzubringen. Das gelinge sehr gut, sagt De Laporte. «Denn die Mitarbeitenden brennen für das Projekt. Es ergibt neue Kooperationen innerhalb des DWI, man lernt sich noch besser kennen. Das ist grossartig, auch für die Stimmung im ganzen Institut.»



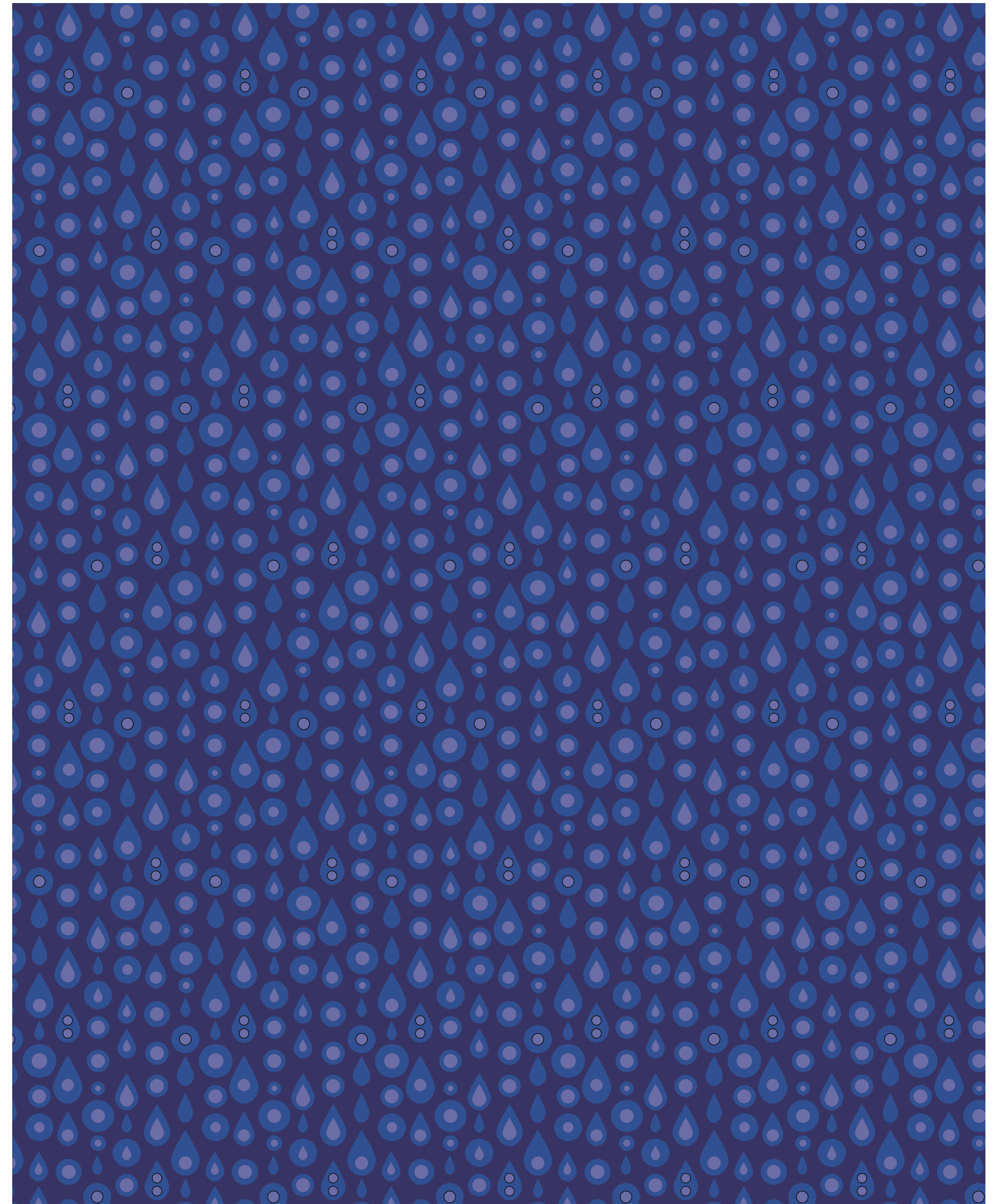
TriggerINK

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 Neuentwicklung basiert auf dem Prinzip einer bahnbrechenden 4D-Druck-Technologie.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung
 10 Mio. Euro für 5 Jahre
Projektdauer 2022–2026
Projektleitung
 Prof. Dr.-Ing. Laura De Laporte, Mitglied der wissenschaftlichen Leitung des DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien und Professorin für Advanced Materials and Biomedicine, RWTH Aachen
 Prof. Stefan Hecht, Wissenschaftlicher Direktor des DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien und Professor für Makromolekulare Chemie, RWTH Aachen
 Prof. Dr. Andreas Herrmann, stellvertretender Wissenschaftlicher Direktor des DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien und Professor für Makromolekulare Materialien und Systeme, RWTH Aachen
 Prof. Dr.-Ing. Matthias Wessling, Mitglied der wissenschaftlichen Leitung des DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien und Professor für Chemische Verfahrenstechnik, RWTH Aachen



Um das Grossprojekt TriggerINK zu realisieren, vereinen am DWI – Leibniz-Institut für Interaktive Materialien in Aachen Forschende verschiedener Disziplinen ihre Expertise an der Laborbank.





«Gutachter müssen das grosse Ganze im Blick haben»

Das Ziel medizinischer Forschung ist es, Krankheiten zu kurieren. Doch zu oft korrigieren Forschungslabors und Pharmafirmen ihren Ansatz nicht, wenn in klinischen Studien der Erfolg ausbleibt. Ein Gespräch mit dem Neurowissenschaftler und Nobelpreisträger Thomas Südhof über miserable Studien, gute Forschungsförderung und das Alzheimerdebakel.

Herr Südhof, waren Sie je auf dem Mount Everest?
Nein (lacht).

Ich hätte es mir vorstellen können. In der Forschung nehmen Sie sich den höchsten Gipfel vor. Sie untersuchen das vielleicht komplexeste Organ des Körpers, das Gehirn. Was hat Sie dazu veranlasst? Das Gehirn ist zwar das vielleicht komplexeste Organ des Menschen. Es macht uns zu dem, was wir sind – das hat mich schon immer fasziniert. Aber man sollte nicht unterschätzen, wie viele Geheimnisse auch andere Organe noch bergen. Selbst die Zelle, als Einheit des Lebens bei Tieren und Pflanzen, ist komplex und nicht verstanden.

Je genauer man hinguckt, desto komplizierter wird es.
Ja. Ich war ursprünglich Arzt. Der Wunsch nach dem Verständnis hat mich angetrieben. Ich habe nach dem Doktorat zuerst zum Cholesterintransport geforscht, weil ich besser verstehen wollte, wie Lipidstoffwechselstörungen entstehen. Ich sah, dass auf diesem Gebiet zwar einiges ungeklärt war, man aber auch vieles bereits verstand – und dass hier viele sehr gute Forschende arbeiteten. Das Gehirn hingegen war damals relativ unerforscht. Das birgt für einen Forscher grosse Möglichkeiten. Deshalb ging ich damals in die Hirnforschung.

Ihr Spezialgebiet sind die Synapsen, die Verknüpfungen von Nervenzellen im Gehirn. Weshalb sind sie wichtig? Synapsen sind die Knotenpunkte, an denen eine Nervenzelle mit einer anderen kommuniziert. Sie sind aber auch die grundlegenden Recheneinheiten im Gehirn. Wenn eine Nervenzelle eine Information auf eine andere überträgt, springt das Signal nicht einfach über, sondern wird an der Synapse verändert. Trotzdem gucken sich die meisten Neurobiologen nicht die Synapsen an, sondern nur die Nervenzellen. Sie zählen nur, wie oft eine Nervenzelle feuert. Wirklich wichtig ist aber, wie die Information, die in dem Feuern von Nervenzellen enthalten ist, übertragen und dabei verrechnet wird. Das unterscheidet sich von Synapse zu

Synapse. Es gibt diverse Arten von Synapsen, und jede Nervenzelle hat Tausende, Zehntausende oder manchmal gar Hunderttausende von Synapsen.

Ein wahnsinnig komplexes System also. Deshalb werden Synapsen in den Theorien der Systemneurobiologen oft zur Seite geschoben. Aber sie sind involviert in alles, was im Gehirn abläuft. Krankheiten wie Neurodegenerationen, Epilepsie, Autismus, Schizophrenie oder Tourette haben letztlich alle mit Synapsen zu tun. Das Problem ist, dass man die meisten Krankheiten des Gehirns nicht versteht, nicht weiss, wo sie ihren Ursprung haben. Zum Beispiel Alzheimer.

Gerade bei Alzheimer gibt es viele Therapieversuche. Aber auch viele Rückschläge. Erstaunt Sie das? Nein, keineswegs. Vor etwa 30 Jahren wurde klar, dass ein kleines Peptid namens Beta-Amyloid eine grosse Rolle in der Alzheimer-Krankheit spielt. Welche Rolle, ist aber noch immer ungeklärt. Geklärt ist, dass sich bei allen Patienten mit Alzheimererkrankung dieses Peptid als unlösliche Ansammlungen im Gehirn ablagert. Diese Plaques entstehen zehn, zwanzig oder dreissig Jahre, bevor jemand Symptome hat. Es setzte sich die Überzeugung durch, dass das Peptid selbst toxisch ist. Daraufhin haben alle Pharmafirmen Medikamente entwickelt, die Beta-Amyloid oder dessen Produktion verändern. Das waren Multimillionen-Investitionen. Das ergab Sinn, gar keine Frage.

Ergab? Zu Beginn, ja. Aber nach vielen, vielen klinischen Versuchen wurde klar, dass die Unterdrückung der Enzyme, die Beta-Amyloid produzieren, Alzheimer-Symptome verschärft. Diese Medikamente verschlimmern also die Krankheit. Das ist nicht erstaunlich, wenn man bedenkt, dass solche Enzyme verschiedene Stoffe verarbeiten und wichtig sind, damit das Gehirn funktioniert. Dann kamen alle die klinischen Studien, die das Beta-Amyloid direkt aus dem Gehirn entfernten, aber auch keine wesentliche Verbesserung der Krankheit erbrachten.

Es fehlte also das Grundwissen über die Vorgänge im Gehirn. Begann man zu schnell mit klinischen Versuchen, weil man mit einem Alzheimer-Medikament viel Geld verdienen könnte? Das ist eine sehr gute Frage. Das Verhältnis zwischen Grundlagenwissenschaft und klinischen Versuchen ist komplex. Manchmal muss man klinische Studien beginnen, bevor man etwas total versteht. Zum Beispiel, wenn der Bedarf irrsinnig gross ist und ein Mechanismus plausibel erscheint. Im Fall von Beta-Amyloid waren die ursprünglichen Versuche sinnvoll. Die Frage ist aber: Was, wenn sich abzeichnet, dass ein bestimmter Weg nicht zu wesentlichen Fortschritten führt? Bei Beta-Amyloid zeigten die ursprünglichen Versuche, dass man das Peptid erfolgreich aus dem Gehirn des Patienten entfernen

«Krankheiten wie Alzheimer, Epilepsie, Autismus oder Schizophrenie haben alle mit Synapsen zu tun. Das Problem ist, dass man die meisten Krankheiten des Gehirns nicht versteht.»

kann – aber das führte zu keiner wesentlichen Verbesserung des Gesundheitszustands. Darum ergab es eigentlich keinen Sinn mehr, weiter in dieselbe Richtung zu probieren und ähnliche, vielleicht ein bisschen bessere Antikörper zu entwickeln. Es ist sinnvoller, in Grundlagenforschung zu investieren, um die Krankheit besser zu verstehen.

Welche Probleme entstehen, wenn die Forschung auf einem solchen Ansatz beharrt? Ethische, finanzielle – und Probleme, die die Forschung betreffen. Man unterwirft Patienten Versuchen, bei denen eigentlich klar ist, dass sie nicht erfolgreich sein werden. Das ist unethisch. Zudem kosten klinische Versuche die Pharmafirmen Milliarden. Das Geld fehlt nicht nur für

Thomas Südhof
Thomas Südhof, geboren 1955, ist Neurowissenschaftler und erforscht, wie Nervenzellen über Synapsen miteinander kommunizieren. Nach der Promotion an der Georg August Universität Göttingen in Deutschland ging er in die USA, wo er an der University of Texas Southwestern in Dallas zum Cholesterinstoffwechsel und -transport forschte und 1986 zum Professor ernannt wurde. 2008 wechselte er an die Stanford University. Dort leitet er seit 2015 auch das Center for Molecular Neuroscience in Health und Disease. Für seine Forschung erhielt er zahlreiche Auszeichnungen – im Jahr 2013 den Nobelpreis für Medizin für seine Entdeckungen zur Reizübertragung zwischen Nervenzellen. Südhof berät auch mehrere Pharmafirmen.



andere Versuche dieser Firmen. Auch Patienten stehen nicht mehr für andere Studien zur Verfügung. Universitäre Krankenhäuser, die oft ebenfalls beteiligt sind, haben weniger Ressourcen für anderes.

Die Forschung stagniert? Ja. Man sendet falsche Signale. In vielen Ländern wächst der Druck, angewandte Forschung zu betreiben. Wenn Pharmafirmen Milliarden investieren in die Beta-Amyloid-Toxizität, halten Regierungen das für eine zukunftsweisende Richtung – und finanzieren ebenfalls in diesem Gebiet. Das bedeutet: verschwendetes Geld, verpasste Möglichkeiten. Und das alles hat Konsequenzen. Die Wissenschaft hat zurzeit ein Glaubwürdigkeitsproblem in der Gesellschaft. Auch, weil so vieles falsch läuft.

Auch, weil sich Resultate von Studien als falsch herausstellen? Oh ja, das ist ein Riesenproblem. Das Publikationswesen in der Wissenschaft ist kaputt, wir können nicht mehr darauf vertrauen, dass Fachzeit-

schriften ehrlich wissenschaftliche Publikationen begutachten. Pharmafirmen können sich auf nichts mehr verlassen.

Auch nicht auf Resultate in renommierten Fachzeitschriften? Auch auf diese nicht. Wenn eine Pharmafirma das Resultat einer Studie interessant findet, macht sie die Untersuchung heute noch einmal selbst. Das ist vollkommene Geldverschwendung. Aber es liegt daran, dass selbst bei den besten Fachzeitschriften die Qualitätskontrolle miserabel ist.

Weshalb? Aus kommerziellen Gründen. Die Motivation der Journals ist es, möglichst viele Artikel zu publizieren und damit Geld zu verdienen.

Hat das wiederum Auswirkungen auf die Forschungsförderung, weil diese sich bei der Vergabe vor allem auf Publikationen abstützt? Natürlich. Das Publikationswesen ist derzeit das grösste Problem in der akademischen Forschung. Schlimmer

als der Mangel an Geld, schlimmer als irgendetwas anderes.

Wie könnte man das Problem lösen? Mit Regulation. Die wissenschaftliche Veröffentlichungsindustrie ist die grösste Industrie der westlichen Welt, die nicht reguliert ist. Sie kann veröffentlichen, was sie will. Sie kann behaupten,

«Das Publikationswesen ist derzeit das grösste Problem in der akademischen Forschung. Schlimmer als der Mangel an Geld.»

was sie will. Es gibt keine Haftung, keine «Accountability». Es gibt Firmen, die besitzen Hunderte oder Tausende Journals. Das ist der Wilde Westen.

Man weiss nicht, wie gut die Fachmagazine sind. Ja, und wenn sie etwas Falsches veröffentlichen, wird es nie korrigiert.

Wenn etwas Falsches publiziert wird, muss der Forscher Rechenschaft ablegen.

Nein. Das System korrigiert sich zwar selbst. Aber nur langsam. Es korrigiert sich dadurch, dass falsche Ergebnisse nie zu etwas führen. Die sind zwar greifbar und werden weiter zitiert. Aber es gibt keine Anwendungen oder Therapien, die darauf aufbauen. Beta-Amyloid ist ein gutes Beispiel. Es gibt viele viele Studien dazu in hochkarätigen Journals. Aber die meisten sind falsch.

Zum Beispiel?

Es gab zum Beispiel eine Studie, die behauptete, man könne Alzheimer durch Beta-Amyloid in Hautbiopsien diagnostizieren. Vollkommener Quatsch. Andere Forscher entfernten Mäusen die Eierstöcke, um die Menopause zu simulieren. In ihrer Studie in «Nature» behaupten sie, das führe zu einem Verlust von bis zu 50 Prozent

«Qualität sollte das wichtigste Vergabekriterium sein. Gutachter müssen das grosse Ganze im Blick haben.»

aller Synapsen und erkläre, warum postmenopausale Frauen mehr Alzheimer kriegen. Kann man sich vorstellen, dass Frauen in der Menopause generell die Hälfte ihrer Synapsen im Gehirn verlieren? Nicht sehr plausibel. Und dann der kürzlich aufgedeckte Fall, dass Daten in einem sehr einflussreichen «Nature»-Paper über Beta-Amyloid vor fast 20 Jahren gefälscht wurden. All das illustriert, wie problematisch zurzeit die Veröffentlichungsindustrie ist.

Verbessert sich dank solcher Enthüllungen etwas in der Alzheimerforschung? Ich weiss nicht, glaube aber schon. Inzwischen ist klar, dass man mit Beta-Amyloid alleine nicht weiterkommt. Deshalb fokussiert das ganze Forschungsfeld inzwischen auf ein anderes Thema, auf Immunzellen namens Mikroglia. Plötzlich glauben die meisten Leute, Alzheimer habe etwas mit der Immunreaktion zu tun

– was stimmt, aber nicht alles erklärt. Dieselben Labors, die vor 15 Jahren «Nature»-Papers über Beta-Amyloid publiziert hatten, publizieren jetzt «Nature»-Papers über Mikroglia. Das ist wie bei den Lemmingen (lacht).

Müssten die Geldgeber und Forschungsförderer mithelfen, diese unbefriedigende Situation zu ändern?

Ja, auch Stiftungen wie die Werner Siemens-Stiftung. Qualität sollte das wichtigste Vergabekriterium sein. Gutachter müssen das grosse Ganze im Blick haben, ein Feld überschauen können. Und nicht nur auf die letzten Ergebnisse und Moden achten.

Sehen Sie grundlegende Unterschiede in der Forschungsförderung zwischen den USA und Europa?

Ja, schon. In den USA besteht fast alle Forschungsförderung aus Drittmitteln. Auch mein Gehalt wird nicht von der Universität Stanford bezahlt, sondern durch Drittmittel am Howard Hughes Medical Institute – dort muss ich meine Forschungsgelder alle fünf Jahre neu eintreiben.

Ich habe gesehen, dass Sie sogar einen Spende-Button auf der Website Ihrer Gruppe haben. So etwas kennt man in Europa kaum.

(lacht) Leider funktioniert es nicht.

Einen Versuch ist es ja wert.

In Europa, zumindest in Deutschland, sind alle grösseren Labors fest finanziert – und häufig riesig. In Stanford gibt es ein paar Labors, die wirklich gross sind. Aber in den meisten, so auch in meinem, forschen 25 Leute oder weniger. Viele meiner ehemaligen Postdoktoranden in Europa haben viel grössere Labors. Sie müssen auch Anträge stellen, aber oft machen diese Drittmittel weniger als die Hälfte der Finanzierung aus. Beide Systeme haben Vor- und Nachteile. Der Vorteil in Amerika ist, dass sich Forschende jederzeit rechtfertigen müssen, was sie tun. Dadurch wird das Geld oft sinnvoll vergeben.

Und der Nachteil?

Der Druck ist enorm. Immer weniger Menschen wollen eine Forschungskar-

riere machen. Man hat keine Sicherheit, man muss ständig schauen, dass man Gehalt und Forschungsgelder heinkriegt. Besonders schwierig ist es für Frauen, die Kinder haben wollen. Da müssen wir mehr tun.

Auch in Europa kann sich niemand darauf verlassen, nach dem Postdoc eine Professur zu erhalten.

Aber wenn man in Europa einen Job hat, hat man ihn langfristig. Diese langfristige Festförderung kann jedoch dazu führen, dass Forscherinnen und Forscher immer dasselbe machen. Sie müssen nichts mehr beweisen, sitzen in einem Riesenapparat und produzieren nicht mehr viel Neues. Das andere Problem in Europa ist: Alles ist zu klein. In Deutschland kennt jeder jeden. In Österreich oder der Schweiz erst recht. In der Förderung entwickelt sich Vetternwirtschaft.

Sie haben die Forschung sehr viel weitergebracht auf Ihrem Gebiet, Sie haben viele Preise erhalten, mit dem Nobelpreis auch den wichtigsten überhaupt. Was macht Sie als Forscher derart gut?

(Lacht und überlegt lange) Ich neige zur Unabhängigkeit und Skepsis. Das macht mich sowohl gut als auch schlecht. Das macht mich gut, weil ich resistent bin gegenüber Moden und kritisch gegenüber der vorherrschenden Meinung. Ein unabhängiges Denken ist enorm wichtig in der Wissenschaft. Ich glaube, das ist meine Stärke. Es ist aber auch eine Schwäche. Es fällt mir nicht leicht, mich in Bürokratien oder grössere Teams einzuklinken. Ich war nie Präsident von irgendwas, weil man dafür andere Qualitäten braucht.

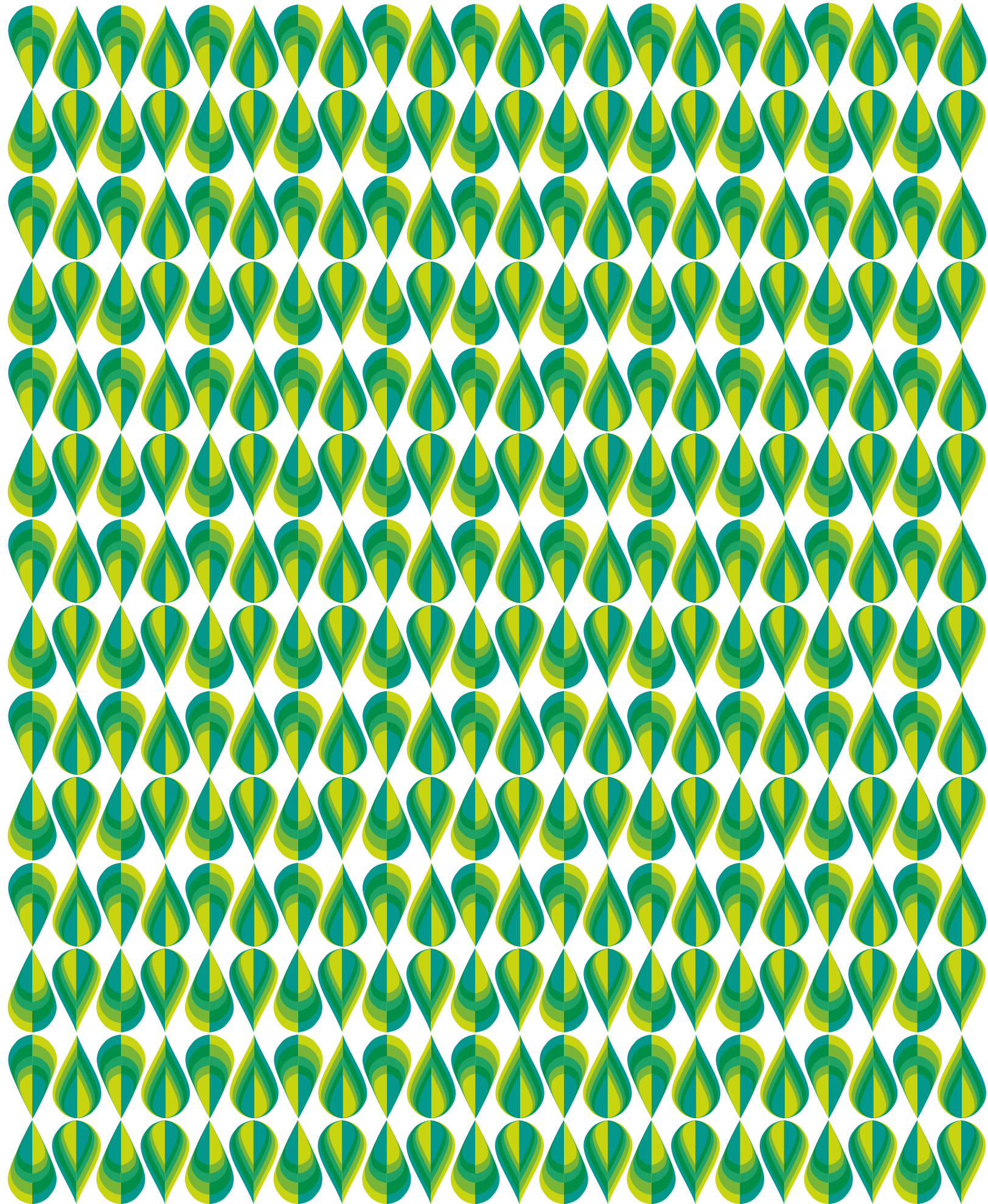
Was geben Sie jungen Forscherinnen und Forschern mit auf den Weg?

Es ist wichtig, seine Stärken und Schwächen zu erkennen. Wer gut darin ist, sich spezifische Experimente auszudenken, soll versuchen wissenschaftliche Probleme zu knacken. Wer gut ist in Networking, Teamwork und Kommunikation soll interdisziplinär arbeiten oder Fragestellungen angehen, die wichtig sind für Regierungen. Beide Typen von Forschenden sollten an Universitäten forschen und arbeiten. Wir brauchen beide.



Projekte

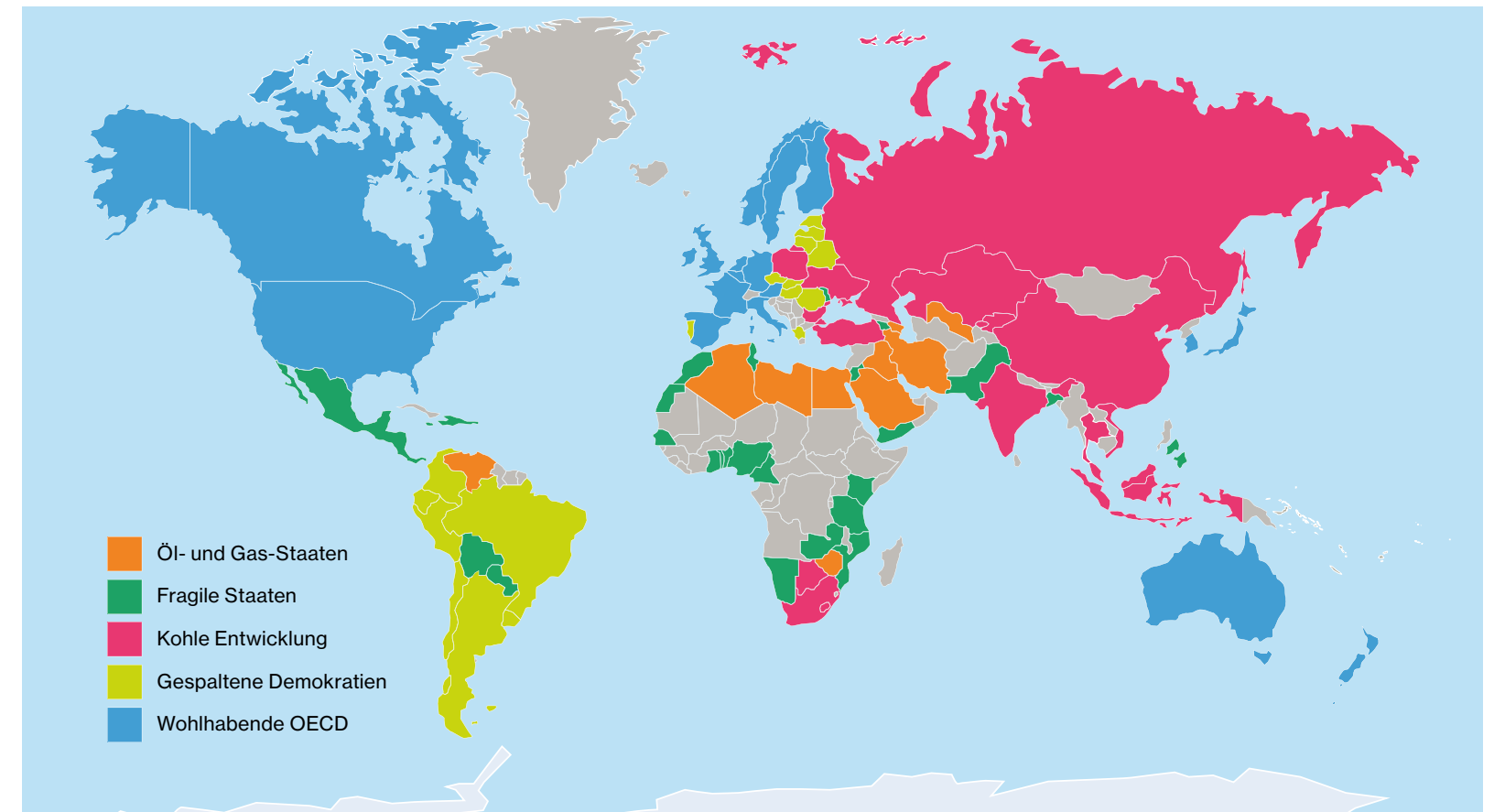
Neben der Medizintechnik unterstützt die Werner Siemens-Stiftung auch pionierhafte Forschungsprojekte in technischen und naturwissenschaftlichen Disziplinen. Die folgenden Seiten zeigen auf, wie das neu geförderte FutureLab CERES am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung gestartet ist – und welche Fortschritte die laufenden Projekte machen.



FutureLab CERES

Neu unterstütztes Projekt CERES

«Der Preis ist entscheidend»



Welche Länder setzen auf Kohle, wer profitiert von Öl, wo ist der Staat schwach?
Das FutureLab CERES untersucht, wie solche Faktoren den Klimaschutz beeinflussen.

Mit welchen politischen Massnahmen lassen sich Klima, Biodiversität und Böden wirksam schützen? Diese Frage untersucht das von der Werner Siemens-Stiftung neu unterstützte FutureLab CERES am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) bei Berlin. Wie CERES vorgeht, erzählt PIK-Co-Direktor Ottmar Edenhofer.

Herr Edenhofer, die Folgen der Klimaerwärmung werden immer sichtbarer. Letzten Sommer trockneten Flüsse fast aus, Gletscher schmolzen wie nie und Wälder brannten quadratkilometerweise. Wie lange haben wir noch Zeit, das Steuer herumzureissen?

Es gibt einen unvermeidbaren Klimawandel, der nicht mehr zu stoppen ist. Wir sind jetzt bei einem Anstieg der globalen Mitteltemperatur von etwa 1,2 Grad. Wenn wir jetzt anfangen weniger Emissionen auszustossen, werden wir den Anstieg hoffentlich unter knapp zwei Grad begrenzen können. Mit anderen Worten: An viele Folgen des Klimawandels können wir uns nur noch anpassen.

Aber es ist nicht alles verloren?

Es wäre ein falsches Bild zu sagen: Wir laufen auf eine Klippe zu – und wenn wir sie überschreiten, fallen wir hinunter. Klimapolitik ist eher mit einem Marathon vergleichbar. Um den Klimawandel zu begrenzen, müssen wir bis Mitte des Jahrhunderts auf Netto

Null kommen – also nicht mehr CO₂ ausstossen, als von der Atmosphäre aufgenommen werden kann. Um das zu erreichen, müssen die Emissionen jährlich sechs bis sieben Prozent sinken. Wir haben diesen Marathon erst gerade begonnen.

Beobachten Sie, dass Staaten vermehrt etwas unternehmen zum Klimaschutz, weil die Schäden greifbar werden?
Eine Schätzung von unseren Forschenden zeigt, dass die sozialen Kosten des Klimawandels bereits heute über hundert Euro pro ausgestossener Tonne CO₂ betragen. Je weiter wir uns vom Zwei-Grad-Ziel wegbewegen, desto dramatischer werden diese Kosten steigen. Es ist auf jeden Fall billiger, die Ziele des Paris-Abkommens einzuhalten, als ungebremsten Klimawandel in Kauf zu nehmen. Trotzdem steigen die Emissionen nach wie vor. Durch den Krieg in der Ukraine sogar noch stärker, weil der Gaspreis schneller gestiegen ist als der Preis der noch viel klimaschädlicheren Kohle. Damit

wird Kohle als Energiequelle wieder attraktiver. Gerade südostasiatische Länder setzen vermehrt auf Kohle. Andere Staaten hingegen tun etwas. Aber in der Summe ist es zu wenig.

Das FutureLab CERES erforscht, wie sich globale Gemeinschaftsgüter wie Atmosphäre, Ozeane und Biosphäre nachhaltig bewirtschaften lassen. Was braucht es dazu, wenn selbst die jüngsten Warnsignale nicht genug bewirken?

Eigentlich sind wir im Blindflug. Wir verstehen nicht gut genug, welche politischen Klimaschutz-Massnahmen bislang etwas bewirkt haben – und welche nicht. Das ist, wie wenn ein Arzt Medikamente verabreicht, sich aber nicht darum kümmert, ob und in welcher Kombination sie wirken. Deshalb haben wir im FutureLab eine grosse Studie gestartet. Als Erstes untersuchen wir den Verkehrssektor in der EU: Wo waren Emissionsreduktionen erfolgreich? Und welche Kombination von Politikinstrumenten hat dies ermöglicht?



Ottmar Edenhofer

Ottmar Edenhofer ist einer der weltweit führenden Experten für die Ökonomie des Klimawandels. Er ist Direktor und Chefökonom des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung (PIK), Direktor des Mercator Research Institute on Global Commons and Climate Change und Professor für die Ökonomie des Klimawandels an der Technischen Universität Berlin.

Wie tun Sie das?

Mit Big Data. Wir werten grosse Datenmengen aus. Was wir wissen: Die meisten Massnahmen brachten nichts. Es gibt in Europa nur sieben Staaten, die ihre Emissionen im Verkehrssektor reduzieren konnten.

Welche waren das?

Dänemark, Finnland, Deutschland, Irland, Luxemburg, Portugal und Schweden. Unsere ersten Ergebnisse zeigen, dass erfolgreiche Massnahmen immer Preisinstrumente beinhalten – eine CO₂-abhängige Motorfahrzeug-Steuer oder Subventionen für erneuerbare Energien. Das ist eine ganz wichtige Einsicht: Der Preis ist entscheidend. Die Untersuchungsmethode wollen wir nun global anwenden.

Das ist viel Rechenarbeit von riesigen Computern.
Wir haben die Möglichkeit, den grossen Hochleistungsrechner am PIK zu nutzen, das ist ein grosser Vorteil.

Aber zuerst muss man einen Weg finden, wie sich kausal nachweisen lässt, welche Instrumente gewirkt haben. Meine Kolleginnen und Kollegen am Institut haben dazu bereits sehr interessante ökonometrische Methoden entwickelt. Dann muss man Daten sammeln, sie auswerten – und von ihnen sinnvolle politische Empfeh-

«Globale moralische Appelle gab es lange genug.»

lungen ableiten. Denn wir schauen zurück – und in die Zukunft: Was wird wirken? Welche Kombinationen von Subventionen, Steuern, Standards und Verboten haben welche Folgen?

In einem zweiten Arbeitspaket führen Sie Fallstudien in mehreren Staaten durch.
Ja. Wir wollen zum Beispiel wissen,

weshalb ein Staat noch auf Kohle setzt. Um von der Kohle wegzukommen, reicht es oft nicht, die Schäden der Klimaerwärmung zu sehen. Denn viele Staaten betrachten Kohle für ihre Energiesicherheit immer noch als fundamental. Es braucht nicht nur einen Kohleersatz, sondern auch Veränderungen in den jeweiligen politischen Systemen. Im CERES-Projekt studieren wir sehr genau Wirtschaft und Politik der verschiedenen Länder – und überlegen: Wer hat welche Interessen und wie könnte der Wandel unter diesen Bedingungen funktionieren?

Sie nehmen vor allem Staaten unter die Lupe, die sehr reich an Naturschätzen sind, aber auch sehr abhängig davon – und vielleicht nicht genügend Geld haben, um den Turnaround zu schaffen ...
... oder die viel Geld haben, deren Eliten aber stark vom Export fossiler Ressourcen leben.

Und deshalb bremsen.
Das muss man alles berücksichtigen.

Wenn man sich nicht die Mühe macht, die Interessen genau zu verstehen, kommt man nicht weiter. Globale moralische Appelle gab es lange genug.

Sie gehen auch vor Ort, zum Beispiel nach Brasilien oder in den Kongo.
Ja. Wir haben schon mehrere Fallstudien gemacht und Teams vor Ort. Das ist unabdingbar. Es reicht nicht, wenn sich westeuropäische Akademikerinnen und Akademiker in ihren Büros ausdenken, wie diese Staaten handeln könnten.

«Wir verstehen noch kaum, welche Klimaschutz-Massnahmen etwas bewirkt haben.»

Der Kongo, wo Sie eine Fallstudie durchführen, will Öl- und Gasförderrechte in dreissig Regionen des Landes versteigern – viele in geschützten Torfregenväldern, die besonders viel CO₂ speichern. Beeinflussen solche politischen Entscheide Ihr Projekt?
Ja. Mit besonderer Besorgnis erfüllt uns, dass durch den Ukraine-Krieg überall auf der Welt die Investitionen in die fossilen Energieträger steigen. Ecuador etwa treibt Öl-Explorationen voran. Solche Informationen werden wichtig sein, um Politikinstrumente vorzuschlagen. Wir denken zum Beispiel intensiv über die Möglichkeit nach, dass multilaterale Entwicklungsbanken Kohlekraftwerke aufkaufen und stilllegen könnten – und die Länder zugleich durch verbilligte Kredite beim Umbau zu erneuerbaren Energiesystemen unterstützen.

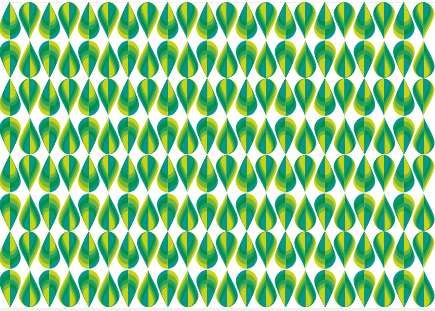
Was bedeutet der Krieg Russlands gegen die Ukraine für Ihr Projekt?
Es ändern sich fundamentale Rahmenbedingungen. Internationale Kooperationen sind viel, viel schwieriger geworden. Und die Kohle erlebt wie gesagt eine Renaissance.

Der Krieg hat also negative Auswirkungen auf Nachhaltigkeit, Klimaschutz und die Umwelt?
Nicht nur. Er treibt zwar die Nachfrage nach fossilen Energien an. Aber zwei grosse Player haben sich auch ambitionierte Klimaziele gesetzt – die EU mit dem Green Deal und die USA mit dem Inflation Reduction Act. Das sind starke Signale.

Die EU und die USA sind Wirtschaftsmächte. Für Schwellen- und Entwicklungsländer, die stark vom Verkauf von Energie- oder Rohstoffen abhängen, ist es ungleich schwieriger, politische Massnahmen zugunsten der Nachhaltigkeit durchzusetzen und mit Kompensationen abzufedern. Wie kommen diese Länder an neue Einnahmen, wenn die alten wegfallen?
Das ist ein komplexes Feld, das CERES in einem dritten Arbeitspaket untersucht. Viele Länder versäumen es in der Phase, in der sie grosse Einnahmen generieren, ihre Wirtschaft zu diversifizieren. Exportländer könnten fossile Ressourcen zum Beispiel besteuern. Aber es braucht auch immer Entscheidungsträgerinnen und -träger, die gewillt sind, in Alternativen zu investieren. Manche Länder versuchen das. Andere wollen das fossile Ressourcengeschäft so lange wie möglich aufrechterhalten. Unsere Aufgabe ist es, zu verstehen warum, und dann entsprechend zu beraten.

Welche Länder suchen nach Alternativen?
Südafrika etwa denkt darüber nach, wie es einen geordneten Ausstieg aus der Kohle schafft. Und wenn es ein Angebot von Entwicklungsbanken gäbe, Kohlekraftwerke aufzukaufen und Schulden zu tilgen, würde auch für Vietnam oder Indonesien ein Kohleausstieg durchaus interessant, so meine Einschätzung.

In einem vierten Arbeitspaket untersucht CERES solche internationale Kooperationen und Instrumente. Doch wie Sie sagten: Diese sind derzeit schwierig umzusetzen.
Ja. Doch Europa und die USA verfolgen ganz ähnliche Ziele. Sie könnten ja über eine Art Klub nachdenken, der



FutureLab CERES

Der Klimawandel zeigt, wie die Übernutzung natürlicher Ressourcen die Zukunft des Planeten und der Menschheit gefährdet. Das FutureLab CERES am Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) analysiert, welche politischen Instrumente zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung beitragen können. Und was Entscheidungsträgerinnen und -träger davon abhält, sie zu ergreifen. Ziel ist nichts weniger als die Neuausrichtung eines Wirtschaftssystems entlang neuer Prioritäten. Heute gilt das Bruttoinlandsprodukt (BIP) als Indikator für Wohlstand und für den Erfolg einer Volkswirtschaft. Doch das BIP blendet den Wert der Natur aus. So sind gemäss Schätzungen die natürlichen Ressourcen der Erde in den letzten 30 Jahren um 40 Prozent geschrumpft. Um die globalen Gemeingüter wie Ozeane, Biosphäre und Atmosphäre zu schützen und nachhaltig zu nutzen, müssen sie künftig in die Berechnung von Wohlstand mit einbezogen werden. CERES gliedert seine Forschung in vier Arbeitspakete. Im Fokus stehen Staaten wie Brasilien, Indonesien, Kolumbien und der Kongo, denen beim Schutz der natürlichen Ressourcen eine Schlüsselrolle zukommt. Sie sind massiv von Klimaschäden bedroht, verfügen über eine hohe Biodiversität und erzielen hohe wirtschaftliche Gewinne aus fossilen oder natürlichen Ressourcen.

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

sie zu Zielen verpflichtet. Man könnte sich intern auf einen CO₂-Preis einigen und Kohle, Öl und Gas mit einer Importsteuer belegen. Unter Klub-Mitgliedern könnte man klimafreundliche Technologien zur Verfügung stellen, etwa zur Entnahme von CO₂ aus der Luft. Angesichts des Ukraine-Krieges haben solche Ideen durchaus Potenzial. Die deutsche Bundesregierung etwa hat an dieser Klub-Idee grosses Interesse. Wir sind mit ihr im Gespräch. Und wir untersuchen mit CERES, wie die Struktur eines solchen Abkommens aussehen könnte.

Aber die Beziehungen zwischen dem Westen und anderen Staaten haben sich verschlechtert.
Die USA und China haben einen massiven Konflikt. Aber sie werden auf bestimmten Gebieten kooperieren müssen. Ich hoffe sehr, dass das Klima dazugehört. Wir werden in einer Welt leben, in der Konflikt und Kooperation miteinander verwoben sind.

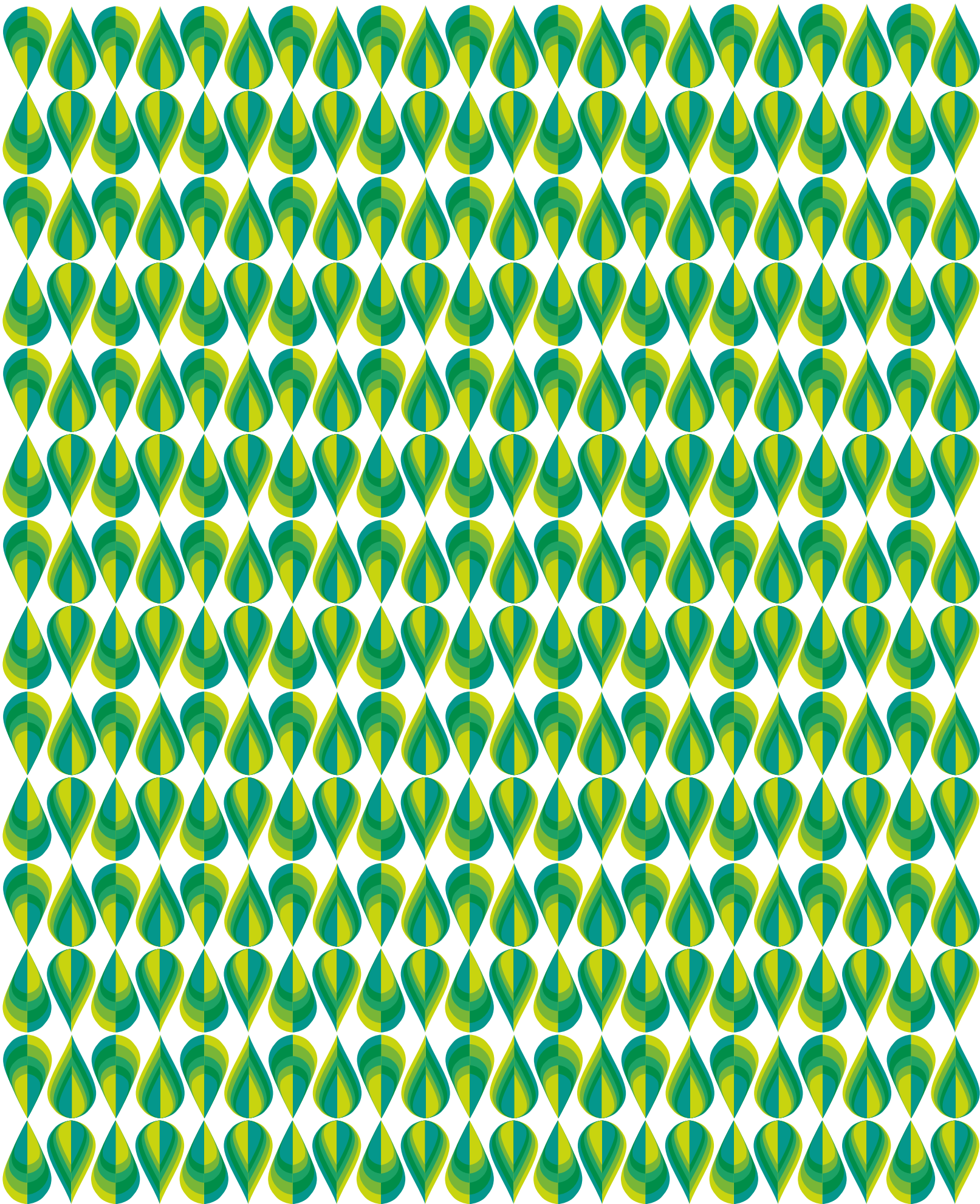
Welche Fortschritte hat CERES sonst noch im ersten Jahr gemacht?
Wir haben gute Forscherinnen und Forscher gewonnen. Und wir sind daran, eine Professur für Politikökonomie einzurichten. Doch für die Forschungsarbeiten müssen wir nicht auf die Professur warten. Da sind wir bereits auf einem sehr guten Weg. Wir freuen uns sehr darauf, im nächsten Jahr mit einem wachsenden Team die Forschungsagenda umzusetzen.

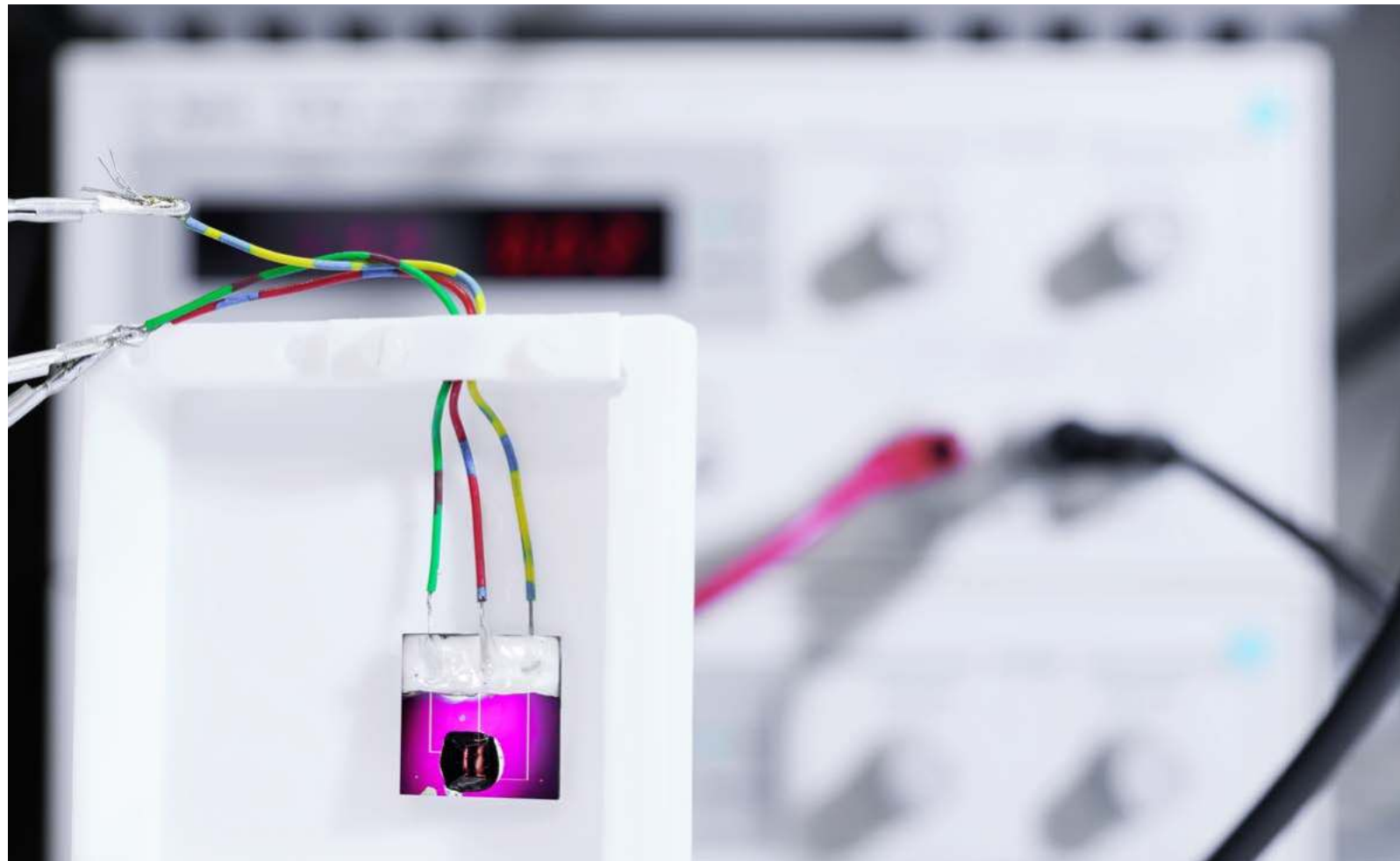
Sie beraten seit langem die Politik in Klimafragen. Gibt es einen Punkt, bei dem Sie immer wieder auf Granit beissen – etwas, das Politikerinnen und Politiker einfach nicht begreifen?
(Schmunzelt) Ja. Klima und Nachhaltigkeit bergen die wichtigsten Risiken des 21. Jahrhunderts. Aber es sind Risiken, die in der Zukunft liegen. Für die Politik gibt es immer Ereignisse, Krisen oder Stimmungen, die kurzfristig wichtiger sind. Aber wir müssen längerfristig denken. Denn die Nachhaltigkeits-,

Ernährungs-, Klima- und Biodiversitätskrisen schaukeln sich gegenseitig hoch. Das ist das Besorgniserregende: Wir haben es mit multiplen Krisen zu tun. Und wir haben nicht den Luxus, eine nach der anderen zu lösen, sondern müssen alle gleichzeitig angehen. Das ist komplex. Die Wissenschaft hat die Rolle eines Radars, der die Risiken wahrnimmt – und sie muss die Politik durch Beratung unterstützen.

Wie verschafft man sich als Wissenschaftler in der Politik Gehör?
Am besten durch unparteiische Expertise und durch den Willen, Politikerinnen und Politikern auf die Nerven zu gehen. Zudem haben wir am PIK durch unsere Tätigkeiten im Weltklimarat oder in der Europäischen Umweltagentur hervorragende Kontakte in viele Länder. Das CERES-Projekt ist für uns ein Reputationsgewinn; es hilft mit, dass die Türen der Entscheidungsträgerinnen und -träger aufgehen.

«Wir werden in einer Welt leben,
in der Konflikt und Kooperation
miteinander verwoben sind.»





Die Fortschritte am Projekt Einzelatom-Schalter sind erfreulich, die Forschenden messen einen Rekord nach dem anderen.

Rekorde am Laufmeter

Der Mikrochip der Zukunft soll auf atomarer Basis funktionieren. Auf dem Weg zu dieser Miniaturisierung haben Forscherinnen und Forscher an der ETH Zürich und am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) gleich mehrere Rekorde aufgestellt.

Grenzen sind zum Verschieben da. Zumindest im Forschungsprojekt Einzelatom-Schalter, das die Werner Siemens-Stiftung seit 2017 unterstützt. «Wir haben im vergangenen Jahr gesehen, dass die physikalischen Grenzen beim Energieverbrauch unseres Schalters noch nicht erreicht sind», sagt ETH-Professor und Projektleiter Jürg Leuthold.

In einem ersten Schritt hatte die mitarbeitende Forschungsgruppe um Professor Thomas Schimmel vom Karlsruher Institut für Technologie (KIT) einen Transistor mit Zinn-Elektroden entwickelt, der mit einer Steuerungsspannung von lediglich 3 Millivolt ein- und ausgeschaltet werden kann. Das bedeutet, dass dieser Schalter rund 10 000 Mal weniger Energie verbraucht als herkömmliche Schalter, die auf der Silizium-Halbleitertechnologie basieren.

«Schalter ein» in 14 Pikosekunden

Kaum hatte die Forschungsgruppe diesen Rekord im Juli 2022 in einem Fachmagazin publiziert, folgte bereits der nächste: Einige Wochen später gelang es Schimmel und seinem Team, die Steuerungsspannung noch einmal um den Faktor zehn herunterzuschrauben, auf 0,4 Millivolt. Weil sich Spannung und Energieverbrauch quadratisch zueinander verhalten, nimmt damit der Energieverbrauch um einen weiteren Faktor 100 ab. Der neue Tran-

sistor ist also eine Million Mal energieeffizienter als heutige Chips und produziert eine Million Mal weniger Wärme.

An der ETH Zürich hat Leutholds Gruppe derweil einen anderen Rekord aufgestellt. Eine wichtige Kennzahl des Atomschalters sei seine Geschwindigkeit, erzählt der Projektleiter. «Wenn Atomschalter beim Ein- und Ausschalten langsam reagieren, können sie noch so klein sein – sie werden sich nicht durchsetzen.» Bislang musste tatsächlich ein solches Szenario befürchtet werden: Atomschalter hatten eine deutlich langsamere Schaltgeschwindigkeit als herkömmliche Chips.

Doch nun gelang es Leuthold und seinem Team, den Wert auf 14 Pikosekunden zu senken. Also auf 14 Millionstel einer millionstel Sekunde. Das sei Weltrekord für einen Atomschalter und liege in der Grössenordnung der heutigen Silizium-Chips, sagt der Forscher. Zudem wiesen er und seine Kolleginnen und Kollegen nach, dass die Geschwindigkeit auch nach mehreren Dutzend Ein- und Ausschaltzyklen nicht abnimmt – und dass der Widerstand und damit die Stromstärke reguliert werden kann. «Die Schaltgeschwindigkeit ist künftig also kein Argument mehr, das gegen Atomschalter spricht.»

Bessere Bauteile dank Simulationen

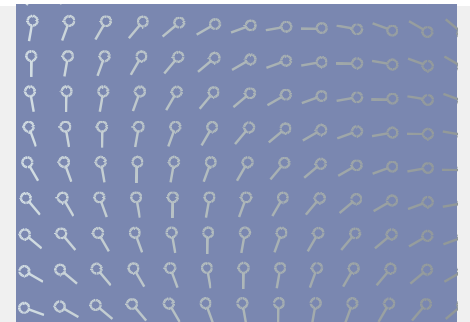
Auch sonst hat das Zentrum für Einzelatom-Elektronik und -Photonik beachtliche Fortschritte gemacht. So haben die Forscherinnen und Forscher einen ersten Chip hergestellt, auf dem sie ihren Atomschalter mit einem herkömmlichen Transistor kombinierten. Sie konnten aufzeigen, dass bereits damit deutliche Energieeinsparungen möglich sind.

Und nicht zuletzt hat die Modellierungsgruppe von ETH-Forschungspartner Mathieu Luisier einen wichtigen Schritt gemacht. Sie entwickelte eine Plattform, die Simulationen der gesamten Atomchip-Architektur durchführen kann – von der atomaren Struktur bis zum gesamten Bauteil.

Die Simulationen seien nicht nur enorm wichtig für ein besseres theoretisches Verständnis der fundamentalen Vorgänge, sagt Leuthold. Sie lie-

ferten auch Anleitungen, wie die verschiedenen Bauteile gebaut werden können, damit sie möglichst zuverlässig und energiesparend funktionieren. Das verhindert Fehlversuche und spart Zeit und Ressourcen: Bis die Forscher jeweils ein neues Bauteil hergestellt haben, können gut und gerne einige Monate vergehen.

Die Aussichten auf eine Revolution im Elektronikmarkt stehen also gut. Insgesamt, sagt Jürg Leuthold, sei er inzwischen ziemlich sicher, dass die neue Atomschalter-Technik die bisherigen Silizium-Halbleiter dereinst als Standardtechnik ablösen werde.



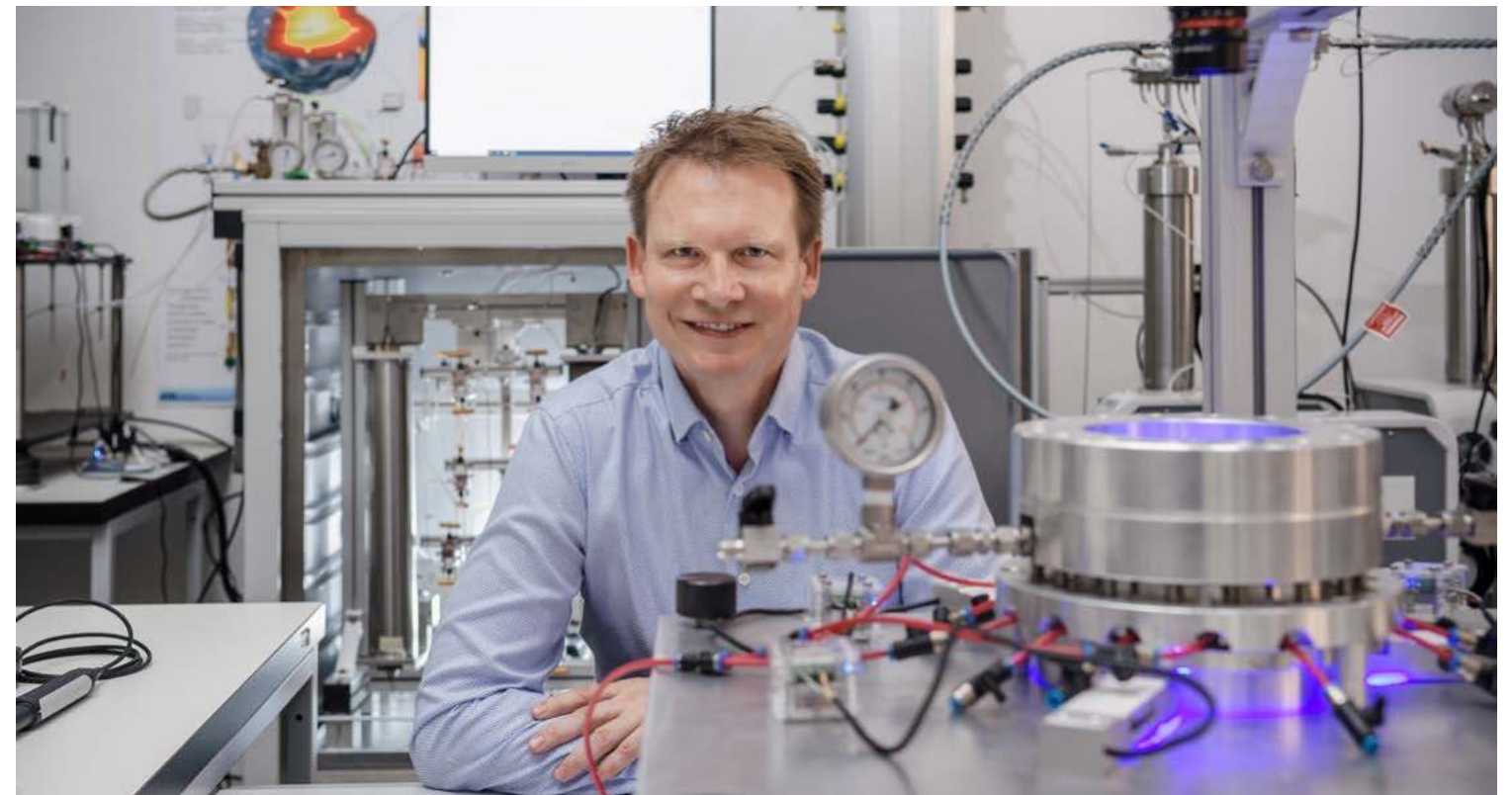
Revolutionärer Einzelatomschalter

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. Forscherinnen und Forscher 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

Mit Zugkraft zur Erdwärme

Erfolgreich abgeschlossene Projekte, neues Grossprojekt, Verhandlungen mit Industriepartnern: Der Geophysiker Martin O. Saar, Werner Siemens-Stiftungsprofessor für geothermische Energie und Geofluide an der ETH Zürich, blickt zurück auf ein intensives Jahr.



Der Geophysiker Martin O. Saar darf zufrieden sein: Das Interesse an seinen innovativen Geothermieprojekten ist enorm.



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 O. Saar und sein Team an der ETH Zürich. Unter anderem hat Saar eine neue Bohrmethode entwickelt – und ein innovatives Verfahren, mit dem man das Klimagas CO₂ im Boden versenken und es gleichzeitig zur Stromproduktion verwenden kann.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung:
10 Mio. Schweizer Franken
Projektdauer: 2015–2024
Projektleitung: Prof. Dr. Martin O. Saar,
Professor für Geothermie, ETH Zürich

An erneuerbaren Energien führt kein Weg vorbei. Das ist seit dem Einmarsch Russlands in die Ukraine und seit dem Hitzesommer 2022 auch dem letzten Zweifler klar. Für Professor Martin O. Saar von der ETH Zürich und sein Fachgebiet, die Tiefengeothermie, bedeutet dies verstärkte Aufmerksamkeit. Denn im Erdinneren warten gewaltige Energiemengen darauf, genutzt zu werden.

Wie gross das Potenzial der Geothermie ist, untersuchen Saar und sein Team in einem neuen Grossprojekt, das von der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung unterstützt wird. Der Innosuisse Flagship Grant AEGIS-CH ist mit 11,4 Millionen Franken für eine Laufzeit von vier Jahren dotiert.

Martin O. Saar hat den Antrag mit Kolleginnen und Kollegen aus Industrie und Forschung geschrieben und leitet das Grossprojekt, an dem auch diverse Forschungs- und Industriepartner beteiligt sind. Der Zuschlag

habe ihn sehr gefreut, sagt Saar – und der Grant sei wichtig, um die Möglichkeiten der Tiefengeothermie auszuschöpfen.

Das Projekt-Konsortium will eine von Saar miterfundene Bohrmethode weiterentwickeln, die unter dem Fachbegriff «Plasma Pulse Geo Drilling» (PPGD) bekannt ist. Beim PPGD wird das Gestein nicht mechanisch aufgebrochen, sondern mit einer Art Elektroschock.

Gemeindeeigene Geothermiewerke?

Die Elektropulse sprengen das Gestein mittels Zugkraft, von unten nach oben. Das innovative Verfahren benötigt nur ungefähr ein Viertel der Energie herkömmlicher Bohrverfahren. Damit würde es um einiges kostengünstiger, an die Erdwärme in ungefähr 5 bis 10 Kilometer Tiefe zu gelangen.

Mit diesem Verfahren, hofft Saar, liessen sich Kraftwerke entwickeln, die ähnlich funktionieren wie heutige Wärmepumpen für Wohnhäuser:

Jeweils zwei Bohrlöcher werden in der Tiefe verbunden, um eine U-förmige Schlaufe zu bilden. In dem Kreislauf wird Erdwärme mithilfe von CO₂ als Zirkulationsflüssigkeit aus dem Gestein herausgeholt. Die Wärme wird entweder direkt genutzt, oder in einem Kraftwerk in Elektrizität umgewandelt und ins Stromnetz eingespeist.

Ein Kraftwerk, das Wärme aus 5 bis 10 Kilometern Tiefe holt, könnte Energie für 500 bis 1000 Menschen liefern, schätzt Saar. Solche Kraftwerke liessen sich – unabhängig von der Geologie – nahezu überall in der Schweiz erstellen, zum Beispiel von Gemeinden.

Wirtschaftliche CO₂-Lagerung

Saars zweiter Arbeitsschwerpunkt in diesem Jahr war das Zusammenstellen eines Konsortiums, um eine von ihm entwickelte Methode namens CPG (CO₂-Plume Geothermal) entscheidend voranzubringen. Kurz gesagt, soll CPG das Abscheiden und Einlagern von CO₂ im Boden wirtschaftlich

machen. Wird das Klimagas nämlich zweieinhalb bis drei Kilometer unter dem Boden gelagert, erwärmt es sich auf ungefähr 100 Grad Celsius. «Diese Wärme wollen wir nutzen», erklärt Saar. Und zwar mit einem Kreislauf: Das erhitzte CO₂ wird an die Oberfläche gebracht, treibt dort Turbinen an – und wird dann wieder im unterirdischen Lager versenkt, so dass letztlich alles CO₂ permanent gespeichert wird.

Hotspots im Kanton Aargau

Weil CO₂ viel weniger zähflüssig ist als Wasser, sei der Vorgang zwei bis drei Mal energieeffizienter als bei allen bisherigen realisierten oder anvisierten Geothermiekraftwerken, sagt Saar. Er stehe in Kontakt mit mehreren renommierten Firmen. «Sie sind begeistert – aber wir brauchen ein Pilotprojekt, um zu zeigen, dass die Methode funktioniert.» Genau das hat er mit dem neuen Konsortium vor. Saar hofft, dass die Arbeiten für den Pilotversuch 2023 beginnen können.

Abgeschlossen hat sein Team dieses Jahr die Untersuchungen zur Wärmestromdichte im Kanton Aargau. Dort existieren einige Hotspots, wo die Wärmestromdichte höher ist als im Landesdurchschnitt. Die Forschenden haben dort die Wärmeleistung im Untergrund am Computer in neuartiger Form simuliert – und damit den Grundstein gelegt, um solche Untergrundkarten für die ganze Schweiz anzulegen. Das wiederum wird den Behörden helfen, Geothermieprojekte an geeigneten Orten zu planen und saubere Energie aus dem Erdinneren zu gewinnen.

Klimadaten vom Segelschiff

Anpacken auf hoher See: Auf der «Eugen Seibold» nehmen Forschende mit diversen Geräten Unmengen von wertvollen Klimadaten auf.



Nach drei Jahren intensiver Arbeit auf hoher See mit der segelnden Forschungsjacht «Eugen Seibold» legt das Team von Projektleiter Gerald Haug vom Max-Planck-Institut für Chemie in Mainz erste Resultate vor. Sie ermöglichen fundierte Prognosen zum Einfluss der Klimaerwärmung auf die Ozeane.

Die Forscherinnen und Forscher haben mit der «Eugen Seibold» zwischen 2019 und 2021 mehr als 20 000 Kilometer des Atlantiks beprobt. Sie analysierten das Meerwasser zwischen Island und dem Äquator bis in eine Tiefe von tausend Metern und lernten die Austauschprozesse zwischen Ozean und Atmosphäre aufs Genaueste kennen. Ihre Geräte massen insgesamt 50 biologische, chemische und physikalische Parameter und deren Zusammenspiel; der Hauptfokus lag auf dem Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂). Terabytes an Daten und Tausende von Proben liegen nun vor und können analysiert werden.

CO₂-Austausch im Tagesverlauf

Eine erste Datenauswertung am Max-Planck-Institut für Chemie bestätigt, was in groben Zügen bekannt ist: Bei der Aufnahme von CO₂ durch den Ozean spielen drei Faktoren entscheidende Rollen – die physikalische Umwälzung der Wassermassen, die chemische Aufnahmekapazität und die Umsetzung von CO₂ in Sauerstoff durch Algen. All diese Prozesse hängen stark von der Wassertemperatur ab. Nun kann dank der detaillierten Daten und Proben der «Seibold» der CO₂-Austausch für bestimmte Meeresregionen und im Tagesverlauf aufgezeigt werden.

Nehmen wir als Beispiel den nährstoffarmen subtropischen Atlantik östlich der Azoren: Mit der aufgehenden Sonne steigt die Aktivität von Chlorophyll in den Pflanzen, dabei wird CO₂ verbraucht und die Sauerstoffkonzentration in der Wasseroberfläche nimmt zu. Die am Morgen gebildeten Algen werden vom Zooplankton gefressen; dessen Atmung führt dazu, dass die CO₂-Konzentration im Wasser wieder ansteigt. Im Laufe des Vormittags wird die Sonnenstrahlung so stark, dass die Algen weniger Sauerstoff aus dem CO₂ bilden.

Ab Mittag entstehen durch die Verdunstung des Meerwassers Wolken, weshalb die Sonneneinstrahlung sinkt, worauf die Aktivität von Chlorophyll und die Produktion von Sauerstoff wieder ansteigen. Bei Sonnenuntergang sinkt die Sauerstoffproduktion, die CO₂-Konzentration im Wasser bleibt hoch; die Algen werden vom Zooplankton abgegrast. Dieser Ablauf konnte mit leichten Unterschieden auch in den anderen untersuchten Meeresprovinzen beobachtet werden.

Hochkomplexe Wechselwirkungen

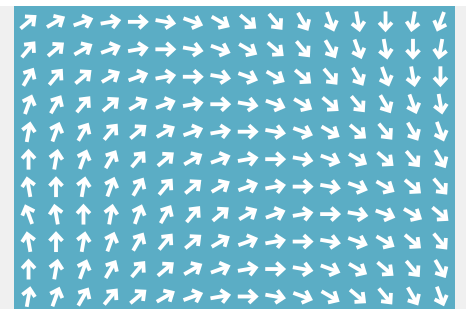
«Wir sehen, dass die CO₂-Austauschprozesse zwischen Atlantik und Atmosphäre viel komplexer ablaufen als angenommen», sagt Ralf Schiebel, Forschungsleiter auf der «Seibold». «Die Kenntnis des Gesamtsystems, in dem sich zahlreiche physikalische, chemische und biologische Parameter gegenseitig beeinflussen, ist essenziell für Prognosen zum Klimawandel.»

Die bestehenden Modelle können nun anhand der Daten der «Seibold» verfeinert werden. So wird es möglich, realistische Zukunftsszenarien zu modellieren. Die Vorhersagen zum Einfluss der Klimaerwärmung auf den Ozean werden wissenschaftlich fundiert. Projektleiter Gerald Haug: «Das ist ein Durchbruch.»

Für die weitere Datenanalyse wurden die Kooperationen mit der «Deutschen Allianz für Meeresforschung» verstärkt und spezialisierte IT-Firmen beigezogen. «Alleine könnten wir das Datenmanagement nicht schaffen, es braucht ein Netzwerk», sagt Schiebel.

Im Dezember 2022 segelt die «Seibold» zum ersten Mal in den Pazifik.

In Panama City soll für drei Jahre eine Basis eingerichtet werden, von der aus die «Seibold» ihre Forschungsreisen starten wird. «Wir erhöhen damit die Chance, einen El Niño zu erforschen», erzählt Schiebel. Das natürliche, extreme Wetterereignis El Niño ist für die Forschenden aufschlussreich, weil es die normalerweise herrschenden Prozesse im Pazifik radikal verändert, was sich auf das ganze Weltklima auswirkt.



Forschungsjacht «Eugen Seibold»

Die Weltmeere spielen für unser Klima eine entscheidende Rolle, da sie Wärme aufnehmen und CO₂ absorbieren – allerdings nicht unbeschränkt. Das umweltschonendste Forschungsschiff der Welt, die «Eugen Seibold», deren Bau und Betrieb die Werner Siemens-Stiftung finanziert, untersucht seit 2019 den Einfluss der Klimaerwärmung auf die Meeresregionen.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung:

3,5 Mio. Euro (2015–2019)

Bau, Infrastruktur)

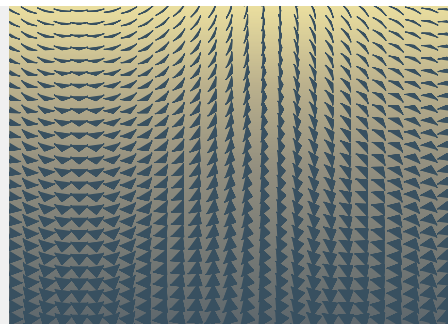
3 Mio. Euro (2020–2030 Betrieb)

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 Klimageochemie am Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

Der Tiefseeroboter wird selbstständig

Die Forschenden des Innovationszentrums für Tiefsee-Umweltüberwachung gehen vermehrt Kooperationen und Technologietransfers mit anderen Meeresorganisationen ein. Das erweist sich als äusserst produktiv.



Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung

Die Tiefsee birgt begehrte Rohstoffe, die mehrere Länder und Firmen abbauen möchten. Tiefseebergbau würde jedoch unwiderrufliche Schäden an diesem bedeutenden Ökosystem anrichten. Das von der Werner Siemens-Stiftung unterstützte Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung am MARUM in Bremen entwickelt technische Lösungen zur Bestimmung und Überwachung schützenswerter Tiefseeregionen.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung:
4,975 Mio. Euro
Projektdauer: 2018–2028
Projektleitung: Prof. Dr. Michael Schulz,
Direktor MARUM – Zentrum für Marine
Umweltwissenschaften, Universität Bremen

Die Basisarbeiten für die Tiefsee-Umweltüberwachung sind mittlerweile geschafft. Nun folgen Stufe zwei und drei: Die Unterwasser-Roboter werden halbautonom und schliesslich vollautonom gemacht. Für diese Aufgaben konnte Projektleiter Ralf Bachmayer im Jahr 2022 zwei neue Fachkräfte anstellen. Der Roboteriker Dr. Ehsan Taheri ist für die Optimierung der Unterwassersteuerung und Regelungstechnik der Unterwasser-Roboter zuständig; die Physikerin Dr. Anna Kolomijeca nimmt sich der optischen Sensorik an.

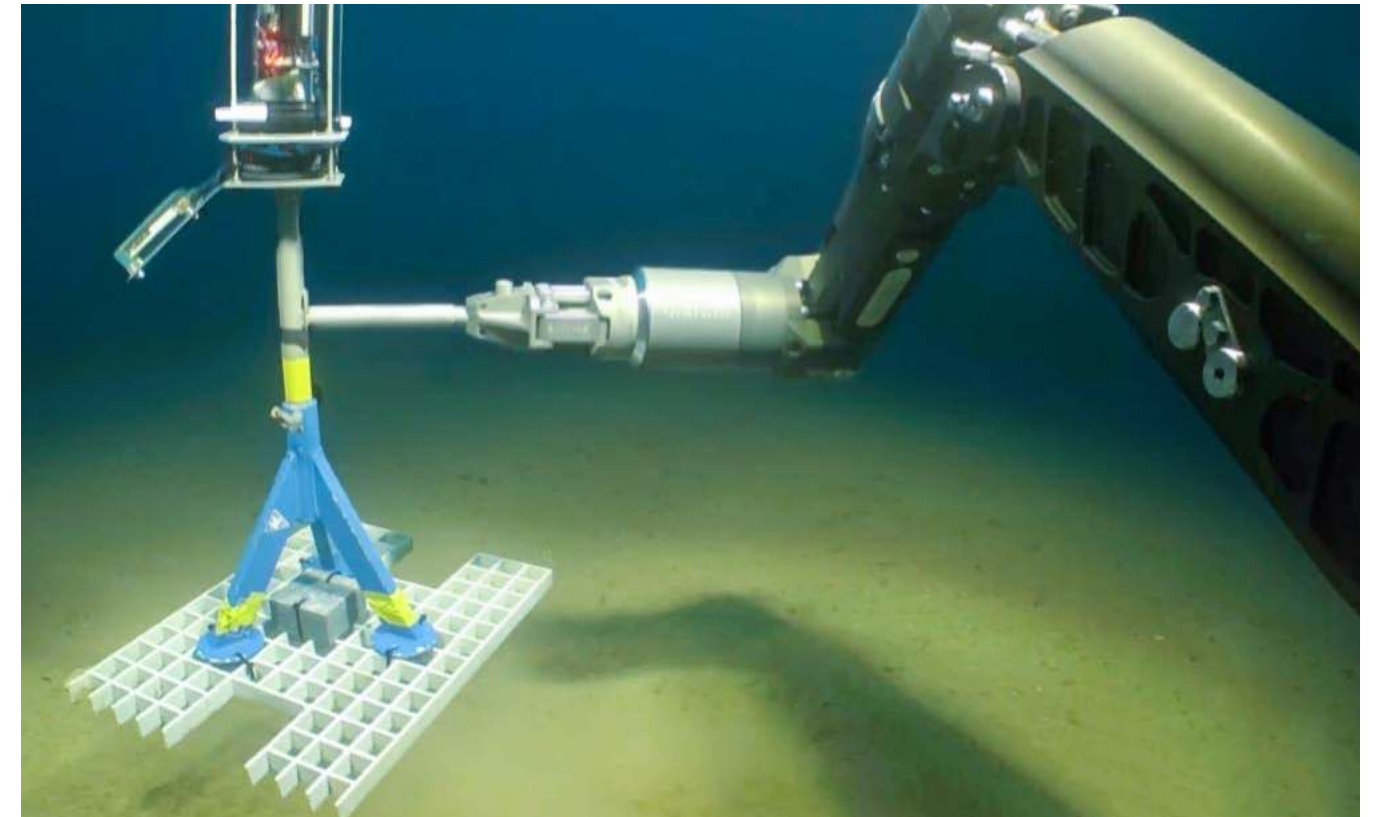
Das Autonome Unterwasser-Vehikel (AUV) soll beim Gleiten über den Meeresboden plötzlich auftauchende «Überraschungen» wie Klippen identifizieren und adäquat darauf reagieren können, ohne das einprogrammierte Ziel aus den Augen zu verlieren. «Man versteht die Problematik am besten, wenn man sich vorstellt, dass man in der stockdunklen Nacht im Licht einer Taschenlampe über unbekanntes Gelände fliegt und sich plötzlich ein

Abgrund auftut», erzählt Bachmayer. Ohne grossflächige Beleuchtung ist es schwierig abzuschätzen, ob man es schafft, darüberzufliegen, oder ob es besser ist, das Hindernis zu umfliegen.

Tauchroboter mit «Mutterschiff»

Deshalb wird über dem teilautonomen AUV ein ferngesteuerter Tauchroboter (ROV) als Tandempartner die fehlende Übersicht liefern. «Das Tandem ist so ausgerüstet und programmiert, dass das bodennahe AUV kurzfristig lokal autonom agieren kann; bei Bedarf greift es auf die Daten des höherliegenden ROVs zurück und entscheidet dann, wie es am besten zum einprogrammierten Ziel gelangt», erklärt Bachmayer.

Bereits arbeitet das siebenköpfige Team auch an den Komponenten für vollautonome Unterwasser-Vehikel: Diesen kann man eine Aufgabe stellen, zum Beispiel: Folge einem Temperaturgradienten! Dann erheben und werten die Vehikel die Daten selbst aus, die sie für den besten Lösungsweg brauchen.



Die Tiefsee-Roboter aus Bremen übernehmen verschiedene Aufgaben – unter anderem sind sie in der Lage, bestimmte Punkte am Meeresgrund zu markieren.

Eine wichtige Aufgabe eines AUV in der Tiefsee ist die Identifizierung der Materie, die es umgibt, seien es Schwebepartikel, Gestein, Sand, Gase oder andere chemische Substanzen. Dazu soll das AUV mit einem Raman-Spektrometer ausgestattet werden. Es kann damit aufgrund der Rückstrahlung der mit Laserlicht angestrahlten Materie berührungslos herausfinden, welche Substanz es vor sich hat. «Die Raman-Spektrometrie wird heute für die Überprüfung von Medikamenten eingesetzt», sagt Bachmayer.

Tiefseematerie charakterisieren

Anna Kolomijeca will diesen optischen Sensor nun an die Bedingungen der Tiefsee anpassen. Das wird es einem AUV in Zukunft ermöglichen, zum Beispiel einen sogenannten Schwarzen Raucher zu erkennen und dessen Ausstoss vor Ort zu analysieren. Auch die aufgewirbelten «Sedimentwolken», die beim Tiefseebergbau das Leben am Meeresboden bedrohen, könnten damit untersucht werden.

Trotz Covid-19-Auswirkungen und Materiallieferungspässen konnten 2022 mehrere Tests in tiefen Gewässern durchgeführt werden. Unter anderem untersuchten Ralf Bachmayer und Dr. Maren Walter mit Kollegen auf dem deutschen Forschungsschiff «Meteor» die von Messungen geführte Steuerung kommerzieller Unterwasser-Gleiter. Sie waren dabei Teil einer grösseren Mission im südlichen Atlantik, deren Ziel die Erforschung der Strömungsenergie und der Austausch mit der Atmosphäre waren; sie nutzten die Forschungsfahrt auch für den Versuch, ihre Algorithmen in den Gleitern zu implementieren.

Ohnehin hat sich die Zusammenarbeit mit anderen Forschungsgruppen und Organisationen wie GEOMAR oder dem Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik in Freiburg (D) intensiviert. So beteiligt sich das Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung seit 2022 an der «Deutschen Allianz Meeresforschung» (DAM), einem Zusammenschluss von

fünf norddeutschen Bundesländern zur Förderung und Koordinierung der deutschen Meeresforschung.

Austausch mit der «Eugen Seibold»

Bachmayers Team entwickelt für die DAM-Forschungsmission «Marine Carbon Sinks in Decarbonization Pathways» ein mobiles Langzeit-Beobachtungssystem, mit dessen Sensoren sich in der Tiefsee Kohlendioxid (CO₂) registrieren lässt. Das Gas-Monitoring wird zum Beispiel bei der Einspeisung von CO₂ in den Meeresboden wichtig, um zu kontrollieren, ob alles dicht ist beziehungsweise wie viel CO₂ austritt.

Auch mit dem Geologen Ralf Schiebel, dem Forschungsleiter der Segeljacht «Eugen Seibold», die ebenfalls von der Werner Siemens-Stiftung unterstützt wird, ist ein Austausch entstanden. Bachmayer möchte sein ferngesteuertes Unterwasserfahrzeug MiniROV mit dem Sampler der segelnden Forschungsjacht verbinden und so die Übermittlung von Bildern aus dem Atlantik testen.

Ausbau auf allen Ebenen

In den kilometerlangen Stollen des Bedretto-Untergrundlabors läuft Weltklasseforschung zur Frage, wie Tiefengeothermie zur Energieversorgung beitragen kann.



Das 2018 errichtete Bedretto-Untergrundlabor zieht Forschungsgruppen aus der ganzen Welt an. Damit mehr Experimente durchgeführt werden können, wurde es 2022 erweitert, indem ein weiterer Stollenabschnitt für Forschungsprojekte erschlossen wurde – erneut mit der Unterstützung der Werner Siemens-Stiftung.

Die Baufirma Fretus begann im Januar 2022 mit dem Ausbau und verbesserte die Tunnelinfrastruktur bis April auf einer Stollenlänge von 2900 Metern von insgesamt rund 3100 Metern. Wegen eines anderen, langfristig geplanten Auftrags konnte sie den Ausbau erst im Herbst zu Ende führen. Den mehrmonatigen Unterbruch nutzten die Forschenden für Erkundungsbohrungen im künftigen zweiten Laborbereich.

So untersuchten sie, wie das Bohren von tiefen Löchern für die Energiespeicherung im mitteltiefen Untergrund gelingt, ohne dass spürbare Erdbeben entstehen. Die Vorarbeiten waren auch für das Bohren weiterer Bohrlöcher und das Erstellen eines geplanten Seitentunnels nötig.

Doppelt so viel Forschungskapazität

Aktuell läuft auch das Forschungsprojekt MISS, das von der Werner Siemens-Stiftung finanziert wird. Bei MISS wird untersucht, wie man den Untergrund beim Einpressen von Flüssigkeit oder Gas ruhighalten kann. Um das herauszufinden, wird das Gestein an vier Stellen in einem Bohrloch

durch den Einschuss von Wasser stimuliert und die Verbindung zum zweiten Bohrloch – aus dem das erhitzte Wasser aufsteigen soll – studiert.

Anfang 2023 ist die neue Testumgebung im Bedretto-Untergrundlabor betriebsbereit. «Dann haben wir doppelt so viel Kapazität für die weitere Forschung», sagt Projektleiter Domenico Giardini. Das Interesse ist gross: Rund zwei Dutzend Forschungsprojekte laufen derzeit oder sind geplant. Auch der Europäische Forschungsrat beteiligt sich am Bedretto-Untergrundlabor – mit dem grössten finanziellen Zuschuss, der je im Fach Erdwissenschaften vergeben wurde.

In 2022 liefen drei neue EU-Projekte im Bedretto-Untergrundlabor an. Für die Betreuung dieser Kooperationen wurde ein internationaler Beirat ernannt. Dessen Mitglieder vertreten unter anderem das Deutsche Geo-ForschungsZentrum am Helmholtz-Zentrum Potsdam, das US-amerikanische EGS Collab und in der Schweiz das Bundesamt für Energie, Bereich Geenergie. Auch der Vorstand des Bedretto-Untergrundlabors soll bald erweitert werden.

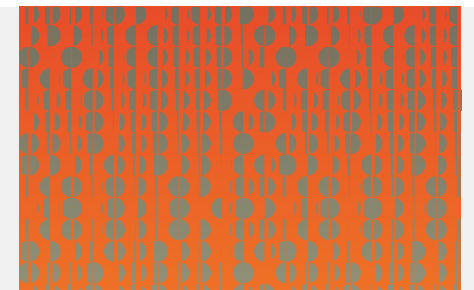
Wärmereservoirs im Untergrund

Der Ausbau auf allen Ebenen kommt nicht von ungefähr. Geothermie wird als wichtiger Bestandteil einer klimaneutralen und diversifizierten zukünftigen Energiepolitik gehandelt. Die Schweiz zum Beispiel möchte bis ins Jahr 2050 rund 25 Prozent des landesweiten Wärmebedarfs mit Geothermie decken. Russlands Krieg in der Ukraine und der damit verbundene starke Anstieg der Energiepreise haben massgeblich dazu beigetragen, dass die meisten europäischen Länder ihre bisherige Energiepolitik, insbesondere die Abhängigkeit von russischem Gas, überdenken und rasch in eine eigenständigere Energiegewinnung investieren wollen.

Einen Beitrag dazu könnte die Energiespeicherung in mitteltiefen Wärmereservoirs liefern. Deren Machbarkeit wird derzeit von den Forschenden im Bedretto-Untergrundlabor untersucht. Die Idee: An verschiedenen Standorten sollen in 1500 Metern Tiefe Wärmereservoirs geschaffen werden.

Im energiereichen Sommer wird Wasser hineingepumpt und erwärmt sich dort. Im Winter kann die Energie aus dem Wärmereservoir genutzt werden.

Diese Nutzungsart von Erdwärme hätte zwei grosse Vorteile: Erstens wäre es viel günstiger, nur in eine Tiefe von 1500 Meter zu bohren, als Reservoirs in bis zu 5000 Metern Tiefe zu erstellen, wie es für Tiefengeothermie-Kraftwerke nötig wäre. Zweitens wäre auch die Energie, die für das Pumpen des Wassers ins Gestein benötigt wird, viel günstiger – da sie im Sommer im Überfluss vorhanden ist.



Bedretto-Untergrundlabor zur Erforschung der Tiefengeothermie

Die Werner Siemens-Stiftung hat den Bau von zwei weltweit einzigartigen Forschungsanlagen in einem Untergrundlabor im südlichen Gotthard-Massiv finanziert und unterstützt Forschungsprojekte zur Tiefengeothermie. Das Bedretto-Untergrundlabor 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:

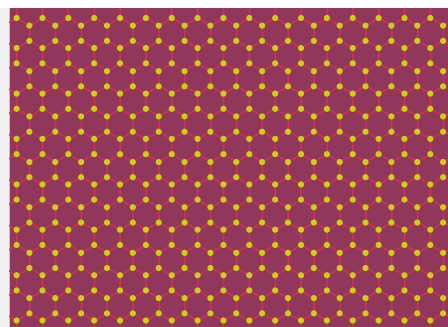
12 + 3.5 Mio. Schweizer Franken

Projektdauer: 2018–2024

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

Manipulation im Nanobereich

Das Projekt CarboQuant an der Empa in Dübendorf bei Zürich wird seit 2022 von der Werner Siemens-Stiftung unterstützt. Schon im ersten Jahr haben die Forschenden einen Meilenstein erreicht.



CarboQuant

Das CarboQuant-Projektteam am Eidgenössischen Forschungsinstitut für Materialwissenschaften und Technologieentwicklung (Empa) in Dübendorf, Schweiz, will eine Materialplattform für die zweite Quantenrevolution entwickeln. Als Grundlage dient eine neuartige Synthesemethode von kohlenstoffbasierten Nanostrukturen. Ziel ist die Herstellung kleinster quantenelektronischer Bauteile, die idealerweise bei Raumtemperatur funktionieren, um im Alltag Verwendung finden zu 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 an der Empa, Dübendorf

Die CarboQuant-Forschenden entwerfen am Reissbrett spezifische, auf Graphen basierende Molekülstrukturen und fertigen diese dann atomgenau an. Die Schwierigkeit dabei ist, dass die entstehenden Materialien praktisch unlöslich und teils sehr reaktiv sind – «ein Alptraum für jeden Chemiker», wie CarboQuant-Co-Projektleiter Oliver Gröning bemerkt.

Die Forschenden lösten das Problem, indem sie die Synthese nicht in einer Flüssigkeit, sondern an einer Metalloberfläche stattfinden liessen. In den letzten 15 Jahren ist das Verfahren so weit gediehen, dass sie nun völlig neuartige Graphen-Strukturen in verschiedensten Varianten – zum Beispiel in Form von Nanobändern – herstellen können.

Mittlerweile kann das CarboQuant-Team selbst die Herstellung komplexer Graphen-Nanobänder kontrollieren. Die Forschenden haben es geschafft, sogenannte Spins gezielt in die Nanostrukturen einzubauen und zu verknüpfen. Spins sind quantisierte magnetische Momente und

eine fundamentale Eigenschaft von Elementarteilchen. «Sie gelten in der Quantenphysik als vielversprechender Grundbaustein neuer Quantentechnologien», sagt Oliver Gröning.

Herausforderung Integration

Nun folgt der nächste Schritt: die Entwicklung einer Technologieplattform, die sich die ungewöhnlichen Quanteneigenschaften der Graphen-Nanobänder zunutze macht. Dazu müssen die Forschenden die Quanteneffekte zuerst charakterisieren und analysieren und dann deren Integration in elektronische Bauteile in Angriff nehmen. «Das sind alles riesige Arbeitsfelder, welche wir themenübergreifend angehen müssen», sagt Oliver Gröning.

Der Bereich «Materials to Devices» wurde im Jahr 2022 durch die Ernennung von Gabriela Borin Barin zur Bereichsleiterin massgeblich gestärkt. Borin Barin nimmt sich mit ihrem Team der Herausforderung an, die Graphen-Nanobänder in Chip-ähnliche Strukturen zu integrieren und die elektronischen Transporteigenschaften

ten unter verschiedenen Bedingungen zu messen. «Das ist sehr anspruchsvoll, weil unsere Nanostrukturen viel kleiner sind als die Bestandteile der neuesten kommerziellen Chip-Generation», sagt Roman Fasel, Co-Projektleiter von CarboQuant. «Es braucht noch viel Grundlagenforschung und spezifisches Know-how aus unterschiedlichen Bereichen, bis man solch ultrakleine Chip-Komponenten bauen kann.» Roman Fasel versteht sich denn auch als «Networker»: Er will für das Projekt CarboQuant Forschungsgruppen aus der ganzen Welt zusammenbringen.

Zusammenarbeit führt zum Erfolg

Der Erfolg gibt ihm recht: In 2022 publizierte ein Zusammenschluss von Forschungsgruppen aus den USA, aus Deutschland, China und der Schweiz einen wissenschaftlichen Artikel zur Integration von nur gerade 0,6 Nanometer breiten Graphen-Nanobändern in Feldeffekttransistoren und zu deren elektronischen Transporteigenschaften. «Aber auch das Fachwissen in den

eigenen Reihen hat zu einem Durchbruch geführt», freut sich Roman Fasel. Zusammen mit dem Empa-Labor «Transport an nanoskopischen Grenzflächen» stellte das CarboQuant-Team komplexe elektronische Graphen-Nanoband-Bauteile her, welche auf kleinstem Raum mehrere Steuerelektroden integrieren.

Weiter ist es gelungen, einen elektronischen Kontakt zwischen einzelnen Graphen-Nanobändern und Elektroden aus einwandigen Kohlenstoff-Nanoröhren – der zylindrischen Variante von Graphen-Nanobändern – herzustellen. «Diese Herausforderung schien wegen der winzigen Grössenverhältnisse unlösbar», erzählt Fasel. «Doch dank der Empa-internen Zusammenarbeit konnten wir die Fertigungspräzision auf einen beispiellos kleinen Massstab bringen.»

Die Bauteile zeigten bei den Messungen sehr klare Merkmale eines Einzelelektronen-Transistors – und somit das Markenzeichen eines Quanteneffektes. «Damit haben wir bereits einen wichtigen Meilenstein erreicht,

darauf können wir bei der Integration komplexerer elektronischer und Spin-Funktionalitäten aufbauen», sagt Roman Fasel.

Spins manipulieren und verstehen

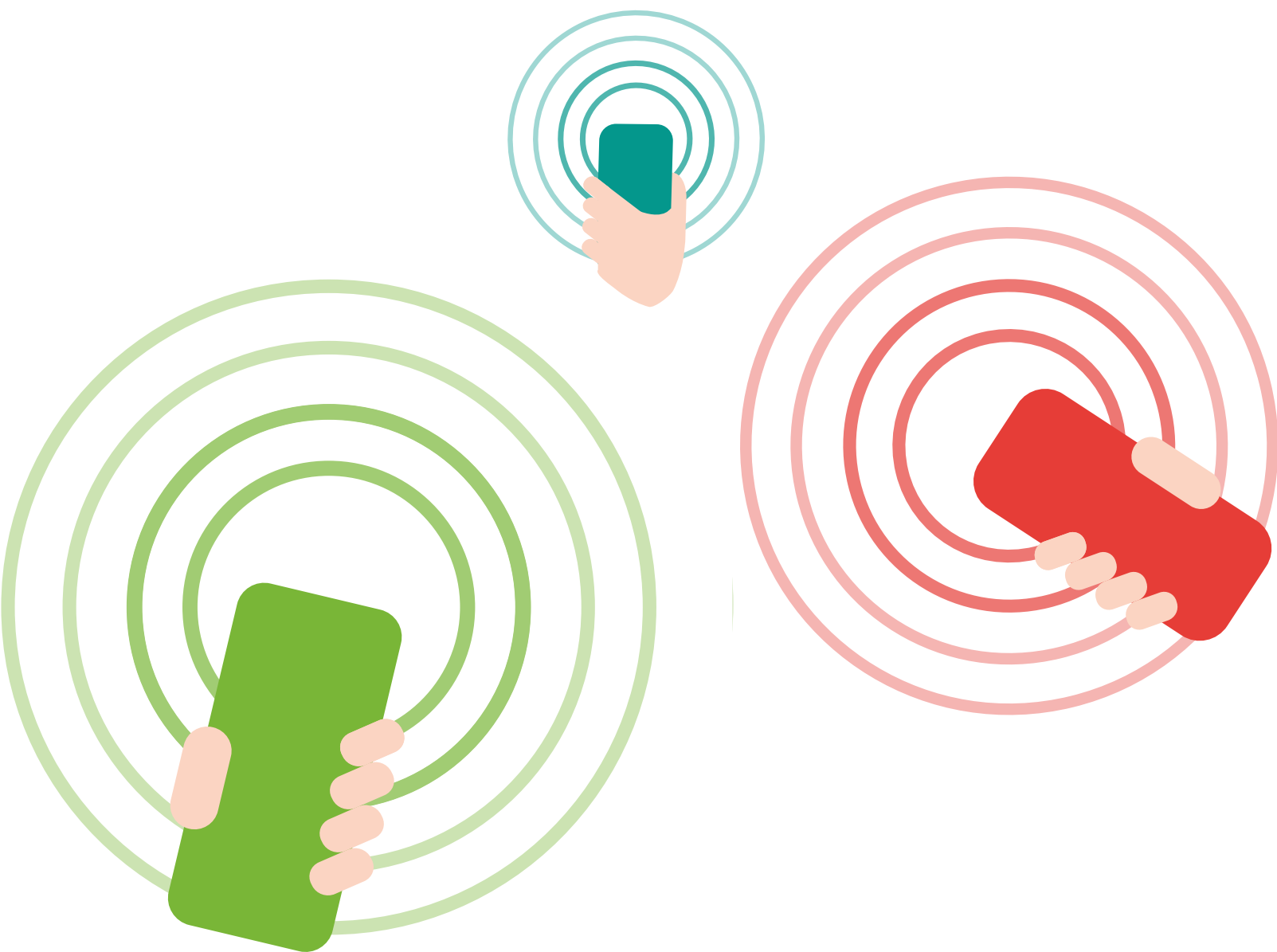
Derzeit können die Forschenden die Spin-Eigenschaften ihrer Graphen-Nanomaterialien zwar mit atomarer Auflösung charakterisieren. Doch die bestehende Infrastruktur an der Empa reicht nicht für die Ziele von CarboQuant, nämlich Spins zu manipulieren und ihre Dynamik zu verstehen. Dank der finanziellen Unterstützung der Empa-Direktion und des Schweizerischen Nationalfonds kann nun ein neues Rastertunnelmikroskop an der Empa aufgebaut werden. Damit lässt sich Elektronen-Spin-Resonanz an einzelnen Atomen durchführen. Für dessen Betrieb baut CarboQuant eine eigene Forschungsgruppe für molekularen Quantenmagnetismus auf.



Die Materialingenieurin Dr. Gabriela Borin Barin vom CarboQuant-Team untersucht eine Probe von Kohlenstoff-Nanobändern im Rastertunnelmikroskop.

Corona-Warn-App als Lehrstück

Ob Nutzerinnen und Nutzer einer digitalen Anwendung vertrauen, hängt von vielen Faktoren ab. Am «Zentrum für digitales Vertrauen» untersucht das Team von Matthew Smith von der Universität Bonn diese komplexen Zusammenhänge. Als Lehrstück dient ihm unter anderem die deutsche Corona-Warn-App.



Digitale Technologien sind aus unserem Alltag nicht wegzudenken. Doch das Herunterladen einer App, das Aufrufen einer Website oder das Benutzen eines elektronischen Zahlungssystems bergen auch Gefahren: Hackerinnen und Hacker legen Websites lahm, Cyberkriminelle fangen Daten ab und Konzerne oder Behörden sammeln private Daten, von denen die Benutzerinnen und Benutzer meist nicht wissen, was mit ihnen geschieht.

Das von der Werner Siemens-Stiftung seit 2019 geförderte «Zentrum für digitales Vertrauen» an der ETH Zürich und der Universität Bonn will deshalb digitale Sicherheitssysteme entwickeln, denen man hundertprozentig vertrauen kann – zum Beispiel Zertifizierungs- und Authentifizierungsmethoden im Internet. Dazu reicht es aber nicht, neue Software zu programmieren. «Wenn es darum geht, ob sich eine neue Technologie durchsetzt, ist der Faktor Mensch entscheidend», sagt Matthew Smith, Professor für Informatik an der Universität Bonn und am Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie in Bonn.

Begleitstudien weisen den Weg

Mit seinem Team forscht Smith an der Schnittstelle zwischen Software und Mensch. Er will wissen, ob eine Neuentwicklung verstanden, wie sie genutzt wird und ob Nutzerinnen und Nutzer ihr vertrauen. «Technikerinnen und Techniker wie wir sehen die Welt zum Teil anders als die restlichen Menschen», sagt Smith. «Begleitstudien mit Anwenderinnen und Anwendern sind deshalb wichtig um herauszufinden, ob wir auf dem richtigen Weg sind.»

Die Corona-Pandemie gab den Forschenden die Gelegenheit für eine solche Begleitstudie. Sie befragten unmittelbar vor und kurz nach der Einführung der Corona-Warn-App in Deutschland eine repräsentative Bevölkerungsstichprobe zu ihrem Wissen, ihrer Einstellung und ihren Erfahrungen mit der App. Dabei habe sich bestätigt, dass die breite Bevölkerung zum Teil diametral andere Ansichten habe als Softwareentwickler, erzählt Smith. «Um Vertrauen zu schaffen, setzen Entwicklerinnen und Entwickler

zum Beispiel oft auf Open-Source-Software, deren Quellcode offengelegt ist.» So auch bei der Corona-Warn-App.

Doch anders als von den Entwicklerinnen und Entwicklern erhofft, gab nur ungefähr ein Viertel der befragten Personen an, dass dies einen positiven Effekt habe auf ihre Absicht, die App herunterzuladen. Viele Menschen hätten den Begriff «Open Source» gar nicht gekannt, sagt Maximilian Häring, Erstautor der Studie. «Eine Teilnehmerin beispielsweise schrieb, die Umfrage sei zwar interessant, enthalte aber zu viele Fremdwörter «wie Open Source».

Digitales braucht reales Vertrauen

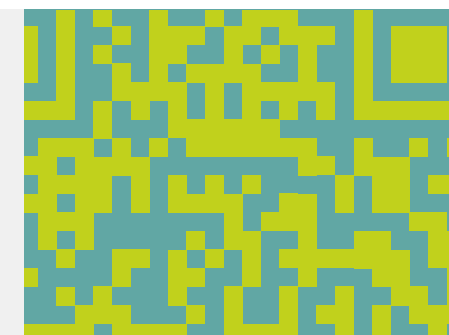
Kurz vor der Lancierung war zudem vielen Anwenderinnen und Anwendern unklar, wie die App technisch funktionieren und wie gut der Schutz ihrer Privatsphäre sein würde. So meinte über die Hälfte der Befragten, die App werde sie warnen, wenn sich eine infizierte Person in ihrer Nähe befinde.

Eine zentrale Rolle bei der Akzeptanz spielte die Einstellung zur Corona-Politik der Bundesregierung. «Das Vertrauen in die Regierung war die wichtigste Variable, um vorherzusagen, ob jemand die App herunterladen würde oder nicht», sagt Maximilian Häring. Während manche die App unter keinen Umständen benutzen wollten, gaben andere an, sie auf jeden Fall herunterzuladen – Datenschutzfragen hin oder her.

In der Folgestudie, die nach der Lancierung der App durchgeführt wurde, zeigten sich andere Stolpersteine. Während Fragen rund um die Privatsphäre in den Hintergrund traten, spielte nun die Benutzerfreundlichkeit eine wichtigere Rolle. Je nach Altersgruppe gaben bis zu 12 Prozent der Befragten an, die App wegen technischer Probleme nicht installiert zu haben.

Insgesamt, sagt Matthew Smith, sei die Corona-Warn-App ein Lehrstück für die Einführung neuer digitaler Entwicklungen. Nicht die Qualität der Software entscheide, ob Userinnen und User sie akzeptierten und ihr vertrauten. «Entscheidend sind die Vertrauensverhältnisse in der realen Welt. Dieses Vertrauen muss man in die digitale Welt transportieren.» Was es dazu

braucht, soll das Projekt in den nächsten Jahren zeigen. Smith ist überzeugt: «Technik sollte nicht von Techies allein entwickelt werden. Die breite Bevölkerung muss von Anfang an involviert werden.»



Zentrum für digitales Vertrauen

Hackerinnen, Hacker und Cyberkriminelle untergraben das Vertrauen in den digitalen Datenaustausch. Das «Zentrum für digitales Vertrauen» der ETH Zürich und der Universität Bonn entwickelt deshalb eine fundamental neue Sicherheitsarchitektur für das Internet. Die Informatikerinnen und Informatiker wollen Vertrauensbeziehungen aus der physischen Welt auf die digitale Welt übertragen.

Mittel der Werner Siemens-Stiftung:

9,83 Mio. Schweizer Franken

Projektdauer: 2019–2027

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

Thermoelektrik mit Tempo

Die Suche nach Materialien, die Temperaturunterschiede effizient in Elektrizität umwandeln, ist aufwändig. Maria Ibáñez und ihr Team am IST Austria können es deshalb kaum erwarten, dass eine Hochdurchsatz-Anlage ihre Untersuchungen beschleunigt.

Neue Materialien sind die Welt der Physikerin Maria Ibáñez. Doch wer neue Materialien herstellen will, sollte neben Fachwissen auch Zeit und Geduld mitbringen – und die richtigen Hilfsmittel. Denn bis ein Material bestimmte Eigenschaften aufweist, braucht es oft viele Versuche. Wer jede neue Mischung im Labor von Hand herstellen und einzeln testen muss, kommt nicht weit.

Ibáñez und ihr Team entwickeln Materialien mit genau definierten Nanostrukturen. In wässrigen Lösungen lassen sie Polykristalle eines thermoelektrischen Materials entstehen, zum Beispiel Zinnselenid. Deren Oberfläche überziehen sie mit molekularen Komplexen eines anderen Materials, zum Beispiel Cadmiumselenid. «Um ein solches neugeschaffenes Materialsystem von Hand zu testen und die verschiedenen Parameter zu variieren, braucht eine Person schon einmal acht Monate oder ein Jahr», sagt Maria Ibáñez.

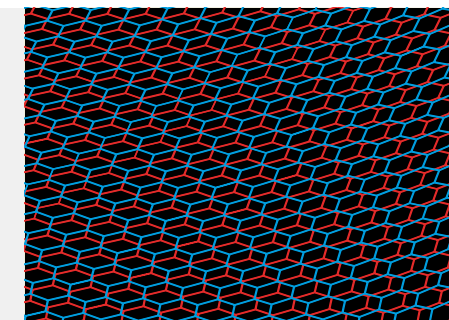
Man versteht deshalb ihre Begeisterung, wenn sie von der Hochdurchsatz-Infrastruktur erzählt, die momentan in ihrem neuen Labor entsteht. Zwar dauerte es länger als erhofft – wegen Lieferengpässen und weil es während der Corona-Zeit schwierig war, die benötigten Ingenieure anzustellen. «Aber jetzt sind wir daran, einen Prototyp zu bauen.» Damit können neun Material-Kombinationen aufs Mal gefertigt und untersucht werden. Ibáñez hofft, dass der Prototyp bis im Frühjahr 2023 einsatzbereit ist. Die fertige Anlage, die noch mehr Möglichkeiten bietet, soll ein paar Monate später eingeweiht werden – «das ist mein grosses Jahresziel», sagt Ibáñez.

Leistungsfähige Polykristalle

Trotz der coronabedingten Verzögerungen ist die Forscherin zufrieden mit den Resultaten ihrer Gruppe. «Wir haben die Grundsteine gelegt und wissen nun ziemlich genau, welche Materialien wir mit welchen Methoden im

Hochdurchsatz-Labor testen wollen.» Einige spannende Resultate haben die Forschenden kürzlich in hochkarätigen Journals publiziert. So gelang es ihnen, mit einem neuen Herstellungsprozess ein Zinnselenid in der kostengünstiger produzierbaren Polykristallform zu schaffen, dessen thermoelektrische Leistung sich messen kann mit den besten Materialien in der teureren Einkristallform.

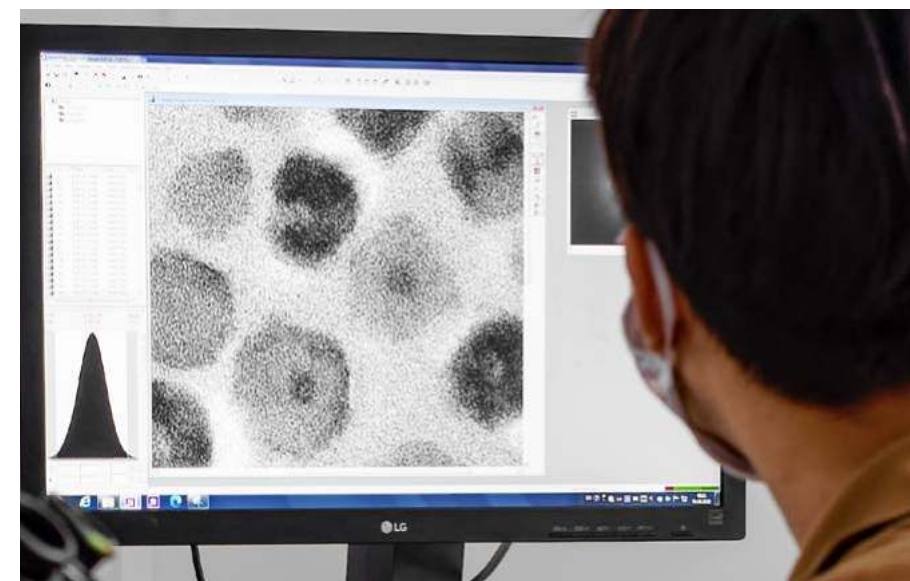
Eine andere wichtige Entdeckung des Thermoelektrik-Teams: «Wir können mittlerweile kontrollieren, wie gross die Körner der Kristalle werden, was wiederum Auswirkungen auf die Korngrenzen hat», sagt Ibáñez. Solche Korngrenzen sind entscheidend dafür, wie die Wärme transportiert wird. Künftig können die Forschenden so die thermoelektrische Leistung ihrer Materialien optimieren. Dieses neue Wissen lasse sich auch anderweitig nutzen, um polykristalline Materialien zu verbessern, sagt Ibáñez. «Ein Beispiel sind Solarzellen.»



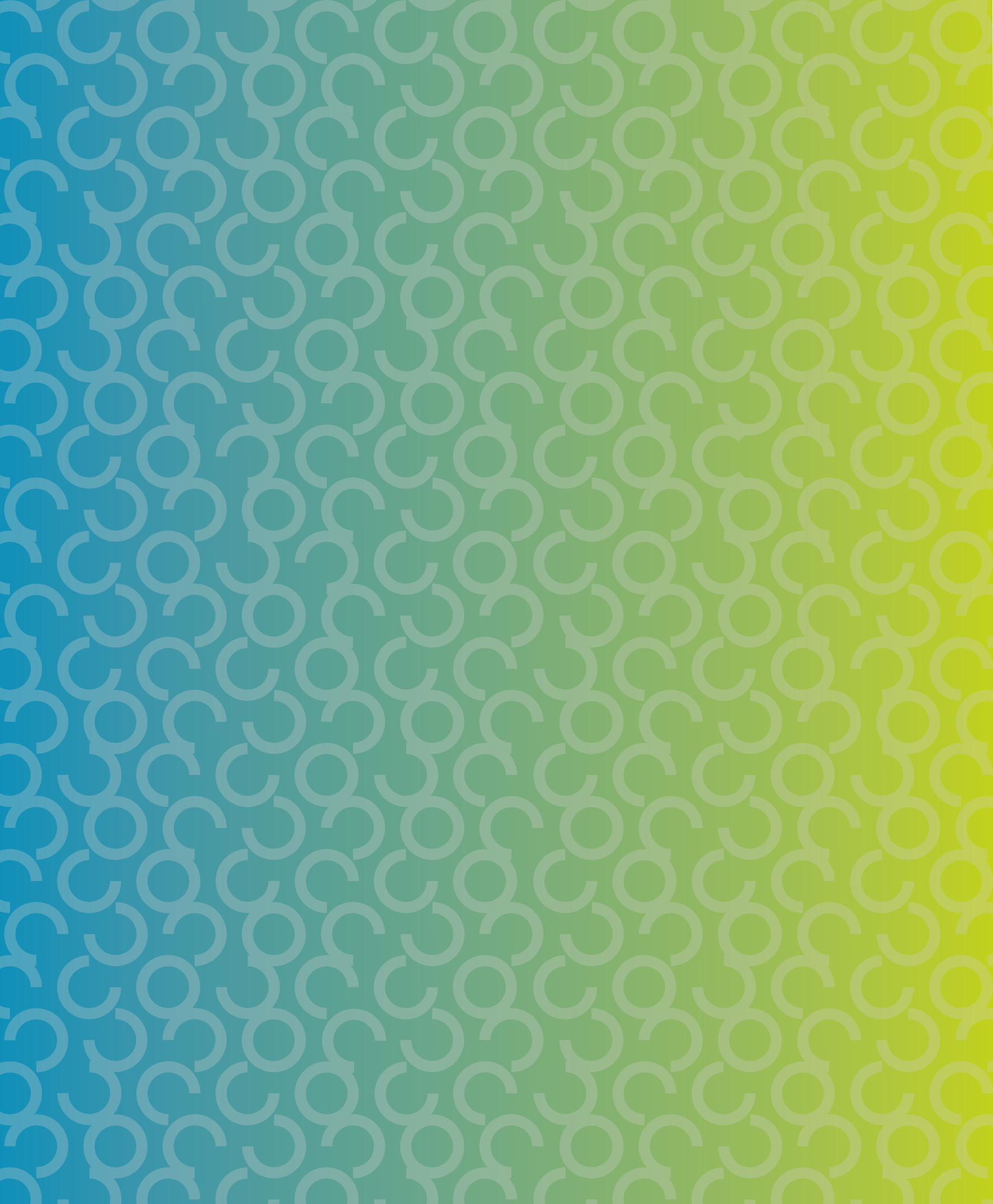
Thermoelektrische Materialien

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-Zentrum zur Erforschung thermoelektrischer Materialien» am Institute of Science and Technology Austria (IST Austria) 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 (IST Austria)



Noch ist die Herstellung neuer thermoelektrischer Materialsysteme grossteils Handarbeit. Mit einer neu geplanten Hochdurchsatz-Infrastruktur soll sich das ändern.



Wer wir sind



Charlotte (links) und Marie, die beiden Gründerinnen der Werner Siemens-Stiftung, verbrachten die grösste Zeit ihres Lebens in enger Gemeinschaft.

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

Grosses Glück, tiefes Leid

Im Jahr 2022 ist der prächtige Band «Charlotte Siemens und Marie Siemens» erschienen. Somit sind nun die Biografien aller fünf Frauen, die die Werner Siemens-Stiftung gegründet beziehungsweise alimentiert haben, in Buchhandlungen und Bibliotheken erhältlich.

Bis vor wenigen Jahren wusste man nur wenig von den Stiftungsgründerinnen Charlotte und Marie und den Zustifterinnen Anna und Hertha sowie Nora. Das wenige, das bekannt war, hing mit ihren berühmten Vätern (im Fall von Nora mit dem Schwiegervater) zusammen, Werner und Carl Siemens. Nun kann man die fünf Frauen als eigenständige Persönlichkeiten in dem von Umbrüchen gekennzeichneten Übergang ins 20. Jahrhundert kennenlernen – dank der Biografien, die die Historikerin Béatrice Busjan und die Archivarin Yvonne Gross verfasst haben. In den Büchern erfährt man, wie den Siemens-Töchtern der familiäre Zusammenhalt von den Eltern vorgelebt wurde, wie sie von klein auf regelmässig miteinander zu tun hatten und wie sie einander als Ehefrauen vor und nach dem Ersten Weltkrieg beistanden. Anschaulich geschrieben und mit tollem Bildmaterial versehen, bieten die Bücher einen tiefen Einblick, wie es dazu kam, dass die Töchter von Carl von Siemens am 7. März 1923 die Werner Siemens-Stiftung gründeten und später die Töchter von Werner von Siemens sowie die Schwiegertochter von Carl von Siemens die Stiftung alimentierten.

Als dritter und letzter Band ist die Doppelbiografie der Stiftungsgründerinnen Charlotte und Marie erschienen.

Béatrice Busjan (Text) und
Yvonne Gross (Recherche):
Charlotte Siemens und Marie Siemens.
Hg. Werner Siemens-Stiftung.
Thomas Helms Verlag Schwerin, 2022



Charlotte von Buxhoeveden, geborene Siemens

Charlotte von Buxhoeveden, geborene Siemens

Charlotte kommt 1858 als zweites Kind des Carl Siemens und seiner Frau Marie (geborene Kap-herr) zur Welt. Sie und ihre Geschwister verbringen die frühe Kindheit in St. Petersburg, in einem schlichten Wohnhaus, direkt neben den Siemens-Werken. Ihr Vater leitet seit 1853 die russische Niederlassung der Firma Siemens & Halske, die sein Bruder Werner 1847 in Berlin gegründet hat.

Charlotte ist ein fröhliches, aufgeschlossenes und willensstarkes Mädchen. Die unbeschwerte Kindheit im lebhaften St. Petersburg währt jedoch nicht lange. Ihr jüngerer Bruder stirbt im Alter von einem Jahr, was die Lebensfreude ihrer an sich lebhaften und lustigen Mutter Marie knickt. Die Mutter erleidet mehrere Aborte sowie eine Totgeburt und ist immer wieder bettlägerig. Als Charlotte neun ist, zieht die Familie in den georgischen Kurort Borjomi und wenig später nach Berlin. Doch die Ärzte vermögen die inzwischen an Tuberkulose erkrankte Mutter nicht zu heilen. Sie stirbt im Februar 1869, und einen Monat später auch Charlottes jüngste Schwester.

In London bei Onkel und Tante

Charlotte, damals zehn, kommt mit den Geschwistern Werner Hermann und Marie in die Obhut wechselnder Gouvernanten. Schliesslich zieht Carl Siemens mit ihnen nach London, wo sein Bruder Wilhelm und dessen kinderlose Frau Anne leben und sich liebevoll der

Kinder annehmen. Sie verbringen elf angenehme, abwechslungsreiche Jahre in London. 1881 zieht es Carl erneut nach St. Petersburg. Er lässt sich mit seinen drei Kindern in einem grosszügigen Haus in der Nähe des Winterpalasts von Zar Alexander II. nieder. An Bällen, Tänzen und Réunions führt er sich und seine mittlerweile erwachsenen Kinder wieder in die Gesellschaft ein. Doch das lustige Leben endet mit dem Attentat auf den Zaren.

Charlotte heiratet 1884 den baltischen Adligen Axel Baron von Buxhoeveden. Sie verbringen die Winter in St. Petersburg, die Sommer auf der estnischen Insel Ösel, auf den Gütern seiner Familie. Axel macht politische Karriere. Charlotte fehlt das politische Verständnis für die Aufgaben ihres Mannes, doch fühlt sie sich auf seinem Hauptgut wohl. Ihre finanziellen Mittel erlauben ihnen einen repräsentativen Lebensstil – auch nachdem Charlottes Lieblingsschloss in Heimar bei revolutionären Unruhen 1905 niedergebrannt worden ist. Seit ihrer Jugend reagiert Charlotte auf schwierige Ereignisse mit körperlichen Beschwerden, als Erwachsene leidet sie zunehmend unter Angstzuständen und Nervenzusammenbrüchen. Sie hält sich deswegen immer wieder im Schweizer Sanatorium Bellevue in Kreuzlingen auf – auch als ihre Tochter Lolotte 1911 an Scharlach stirbt.

Enteignet und staatenlos

Nach dem Ausbruch des Ersten Weltkriegs verlässt Charlotte St. Petersburg und begibt sich zur ärztlichen Behandlung nach Stockholm. Als die kommunistischen Umwälzungen eine Rückkehr nach Russland unmöglich machen, reist sie 1918 in die Schweiz. Dort erfährt sie, erneut als Patientin im Bellevue, dass ihr Mann Axel im Bürgerkrieg auf Ösel getötet worden ist.

Verwitwet und staatenlos gelingt der inzwischen 63-jährigen mit der Unterstützung ihrer Kinder und der Verwandten in Berlin ein Neuanfang. Ihr Besitz in Russland und Estland ist zwar verloren, doch nach dem Tod ihres Vaters erbt sie wie ihre Schwester Marie beträchtliche Anteile an den deutschen und englischen Siemens-Werken. Mit einem Teil dieses Vermögens gründen die Schwestern 1923 in der Schweiz die Werner-Stiftung (Vorläuferin der Werner Siemens-Stiftung), deren Zweck die Fürsorge für notleidende Nachfahren der Siemens-Gründer Werner und Carl ist.

Charlotte lässt sich, wie zahlreiche andere russische Emigrierte, in Baden-Baden nieder und erwirbt 1924 die liechtensteinische Staatsbürgerschaft. Der neue Pass gibt ihr die Reisefreiheit zurück, die sie gewohnt ist. Gegen den Rat ihrer Ärzte beginnt sie, durch Westeuropa zu reisen. Sie stirbt am 26. März 1926 in Zürich im Hotel «Elite» und wird in Baden-Baden beigesetzt.

«Wenn Charlotte ihren Enkeln von Estland und Russland erzählte, erschien das ihren Zuhörern wie Märchen aus längst vergangenen Zeiten», schreibt die Buchautorin und Historikerin Béatrice Busjan. «Tatsächlich bewegt sich Charlotte von Buxhoeveden zeitlebens in einer Welt, die mit ihrer Generation untergegangen ist.»



Marie von Graevenitz, geborene Siemens

Marie von Graevenitz, geborene Siemens

Marie kommt 1860 als viertes Kind von Carl Siemens und seiner Frau Marie in St. Petersburg zur Welt. Sie ist ein zurückhaltendes, schüchternes Mädchen, das sich gern im Schatten ihrer älteren und extrovertierten Schwester Charlotte bewegt. Die beiden Schwestern werden die meiste Zeit ihres Lebens in enger Gemeinschaft verbringen. Gemeinsam erleben sie den frühen Tod ihrer Mutter und ihres Bruders sowie die Umzüge der Familie nach London – zu Carls Bruder Wilhelm und dessen kinderloser Frau Anne – und zurück nach St. Petersburg.

Hier heiratet Marie im Jahr 1884 Georg Baron von Graevenitz. Ihr Mann gehört in St. Petersburg zum diplomatischen Dienst des Zarenreichs und wird 1890 zum Kammerjunker befördert. Die Eheleute bekommen sechs Kinder. Als Georg an die russische Botschaft in London versetzt wird, zieht die ganze Familie für fünf Jahre dorthin. In den folgenden Jahren vertritt Marie regelmässig bei diplomatischen Empfängen ihren Mann, der an Alkoholismus leidet.

Geheilte Depression

Wie ihre ältere Schwester Charlotte durchlebt auch Marie immer wieder depressive Phasen. Als sich diese verstärken, begibt sie sich im Jahr 1903 zur Behandlung in das renommierte Schweizer Sanatorium Bellevue

in Kreuzlingen. Anders als Charlotte gelingt es ihr nach dieser Behandlung, wieder ein eigenständiges Leben zu führen.

1904 übernimmt Maries Mann die Leitung der russischen Gesandtschaft in Weimar, und die Familie zieht für vier Jahre dorthin. Als die Gesandtschaft geschlossen wird, kehren sie nach St. Petersburg zurück und pflegen von dort aus die Kontakte zu ausländischen Gesandtschaften. Die Familie pendelt zwischen ihrem Stadtsitz im St. Petersburger Diplomatenviertel und den Landgütern Gostilitzy und Chmelewo, die Marie von ihrem Vater Carl von Siemens geerbt hat. Ihre drei Söhne werden an der Militärakademie auf den Dienst am Zarenhof vorbereitet.

Eine Stütze für Charlotte

Marie übernimmt regelmässig auch die Fürsorge für die Kinder ihrer Schwester Charlotte, wenn diese krankheitsbedingt ausfällt. So ist es Marie, die 1911 am Sterbett der an Scharlach erkrankten Lolotte sitzt und sich ab 1915 um ihren Neffen Charles kümmert, als Charlotte zur ärztlichen Behandlung nach Stockholm reisen muss.

Im Frühling 1917 erlebt Marie in St. Petersburg hautnah die Russische Revolution und die Abdankung des Zaren. Sie flieht nach Helsinki, ihr Mann und ihre Söhne folgen etwas später. Auf diesen Schicksalsschlag folgen rasch weitere: Im folgenden Jahr stirbt ihre älteste Tochter an Tuberkulose, und später auch zwei ihrer Söhne.

Georg von Graevenitz fühlt sich bis zu seinem Lebensende dem Zarenhofverbunden. Als die Bolschewiki ihnen die russische Staatsangehörigkeit aberkennen, bleiben Marie und Georg bewusst staatenlos. Die Besitzansprüche an ihre russischen Güter Gostilitzy und Chmelewo hält Marie jedoch zeitlebens aufrecht.

Erbe als finanzielle Basis

Maries Vermögen als Erbin ihres geadelten und im Jahr 1906 gestorbenen Vaters Carl von Siemens bildet die finanzielle Basis der Familie. Auch die finanzielle Zukunft der Siemens-Nachkommen sichert sie 1923 gemeinsam mit ihrer Schwester Charlotte durch die Gründung der Werner-Stiftung.

Ohnehin widmet Marie der Fürsorge für Familienangehörige viele Jahre ihres Lebens. In Zeiten des Leids trägt sie ihr tiefes Gottvertrauen. Nach Charlottes Tod gründet Marie im Jahr 1927 – trotz des Widerspruchs ihrer Kinder – auch noch die Maria-Stiftung, in welche sie Aktien im Wert von 2,1 Millionen Reichsmark einbringt, zur Unterstützung von Nachkommen, ehemaligen Bediensteten und nahestehenden Personen. Am 2. Oktober 1939 stirbt Marie, wenige Wochen nach dem Tod ihres Mannes.

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
Tel Aviv, Israel

Alexander von Brandenstein
Mitglied
Hamburg, Deutschland

Stiftungsrat

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

Dr. Hubert Keiber
Obmann
Luzern, Schweiz

Prof. Dr. Peter Athanas
Mitglied
Baden, Schweiz

Beat Voegeli
Mitglied
Rotkreuz, Schweiz

Wissenschaftlicher Beirat

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

Gianni Operto, Vorsitzender,
Ebmingen, Schweiz

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

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Matthias Kleiner,
Mitglied, 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
Guthirthof 6
6300 Zug
Schweiz
www.wernersiemens-stiftung.ch

Projektleitung

bigfish AG, Aarau
Koechlin Kommunikation, Brittnau
Brigitt Blöchlinger, Zürich

Gestaltung

bigfish AG, Aarau

Texte

Brigitt Blöchlinger, Zürich
S. 34–39, 86–93, 100–103
Simon Koechlin, Brittnau
S. 24–33, 44–85, 94–97
Mathias Plüss, Vordemwald
S. 40–43

Korrektorat

Niklaus Waber, Strengelbach

Fotografien

Felix Wey, Fotostudio, Baden
S. 12–21, 26–29, 82, 85, 86, 90, 93, 97
Oliver Lang, Fotografie, Lenzburg
S. 30, 33 (oben), 34–37, 46–51, 53
Hannes Woidich, Fotografie, Dortmund
S. 8–9, 56–64
Innovationszentrum für Tiefsee-Umweltüberwachung,
MARUM, Bremen: S. 89
MIRACLE II, Universität Basel
S. 10–11, 33 (unten), 45
zVg: S. 66
David Ausserhofer: S. 78
Getty Images: S. 69
Stock: S. 24
Siemens Historical Institute, Berlin: S. 100–103

Illustrationen

bigfish AG, Aarau

Druckerei

Kasimir Meyer AG, Wohlen

© Werner Siemens-Stiftung, 2022

