

# WO DIE ZUKUNFT BEGINNT

EIN MAGAZIN ÜBER  
NEUGIER UND FORTSCHRITT



**GLAUBEN  
ODER WISSEN?**

Ein Gespräch über die Rolle  
der Wissenschaft

**AN DIE GROSSEN  
FRAGEN WAGEN**

Sechs Forscherinnen und  
Forscher erzählen, was sie tun

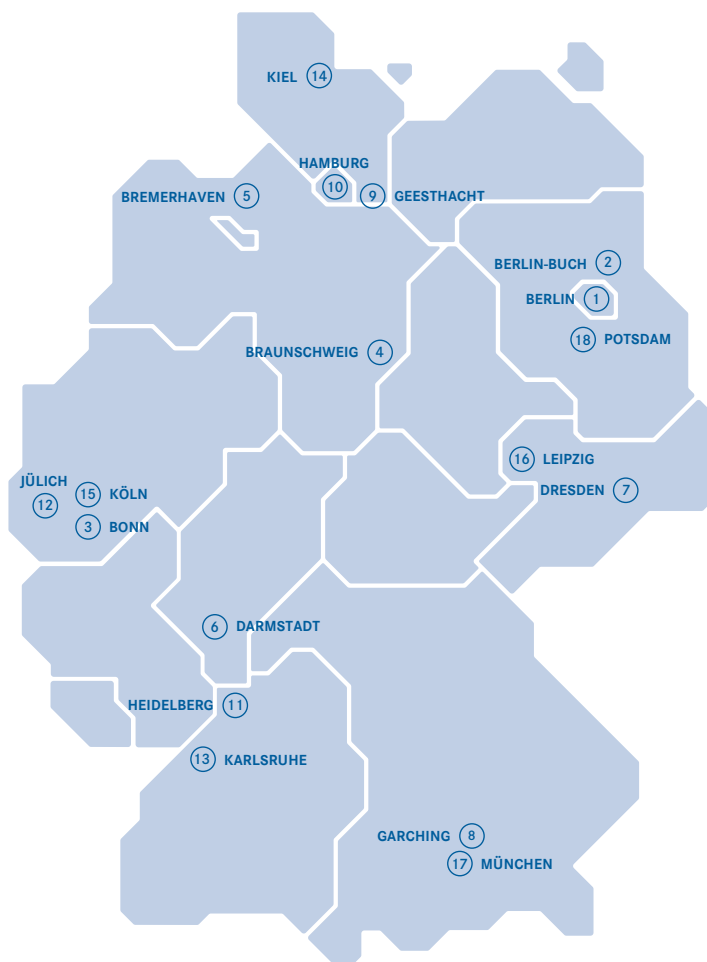
# HELMHOLTZ – DAS SIND WIR

**W**ie lassen sich Diabetes, Krebs oder Demenz am besten behandeln? Woher kommt in Zukunft nachhaltige Energie? Und können wir den Klimawandel in den Griff bekommen? Mit diesen und vielen weiteren drängenden Fragen unserer Wissenschaft, Gesellschaft und Wirtschaft befasst sich die Helmholtz-Gemeinschaft mit einem breiten fächerübergreifenden Forschungsansatz. Die Arbeit unserer Forscherinnen und Forscher konzentriert sich darauf, die Lebensgrundlagen des Menschen langfristig zu sichern.

Wir bündeln unsere Kräfte in sechs Forschungsbereichen: Energie, Erde und Umwelt, Gesundheit, Materie, Schlüsseltechnologien sowie Luftfahrt, Raumfahrt und Verkehr. In diesen Feldern kooperieren unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler miteinander sowie mit externen Partnern – über die Grenzen von Disziplinen, Organisationen und Nationen hinweg.

Die wertvollste Grundlage unserer Arbeit sind exzellente Köpfe: in der Wissenschaft wie in der Administration. Ihnen bieten wir eine leistungsfähige Infrastruktur und modernes Forschungsmanagement, damit sie sich optimal den Zielen unserer Forschungsorganisation widmen können. In dieser Beilage stellen wir Ihnen sechs unserer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vor. Sie stehen exemplarisch für die eindrucksvolle Bandbreite unseres Wirkens. Sie zeigen, wie faszinierend Wissenschaft ist. Sie gestalten unsere Zukunft – mit Leidenschaft.

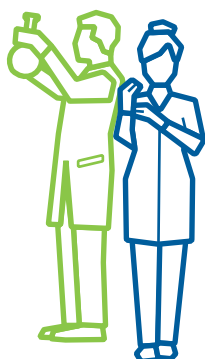
Otmar D. Wiestler, Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft



1 – HZB Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie · [www.helmholtz-berlin.de](http://www.helmholtz-berlin.de) 2 – MDC Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in der Helmholtz-Gemeinschaft · [www.mdc-berlin.de](http://www.mdc-berlin.de) 3 – DZNE Deutsches Zentrum für Neurodegenerative Erkrankungen · [www.dzne.de](http://www.dzne.de) 4 – HZI Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung · [www.helmholtz-hzi.de](http://www.helmholtz-hzi.de) 5 – AWI Alfred-Wegener-Institut – Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung · [www.awi.de](http://www.awi.de) 6 – GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung · [www.gsi.de](http://www.gsi.de) 7 – HZDR Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf · [www.hzdr.de](http://www.hzdr.de) 8 – IPP Max-Planck-Institut für Plasmaphysik · [www.ipp.mpg.de](http://www.ipp.mpg.de) 9 – HZG Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung · [www.hzg.de](http://www.hzg.de) 10 – DESY Deutsches Elektronen-Synchrotron · [www.desy.de](http://www.desy.de) 11 – DKFZ Deutsches Krebsforschungszentrum · [www.dkfz.de](http://www.dkfz.de) 12 – Forschungszentrum Jülich · [www.fz-juelich.de](http://www.fz-juelich.de) 13 – KIT Karlsruher Institut für Technologie · [www.kit.edu](http://www.kit.edu) 14 – GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel · [www.geomar.de](http://www.geomar.de) 15 – DLR Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt · [www.dlr.de](http://www.dlr.de) 16 – UFZ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung · [www.ufz.de](http://www.ufz.de) 17 – Helmholtz Zentrum München – Deutsches Forschungszentrum für Gesundheit und Umwelt · [www.helmholtz-muenchen.de](http://www.helmholtz-muenchen.de) 18 – GFZ Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum · [www.gfz-potsdam.de](http://www.gfz-potsdam.de) (in alphabetischer Reihenfolge der Städte)

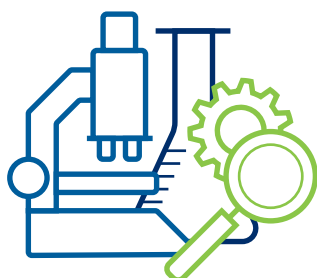
[www.helmholtz.de](http://www.helmholtz.de)

**Titelbild:** Unterwegs im ewigen Eis – Die „Polarstern“ auf dem Weg in die Antarktis (Alfred-Wegener-Institut/Mario Hoppmann)



**38.733  
MENSCHEN**

arbeiten in den  
18 Helmholtz-Zentren



**4,38  
MRD. €**

umfasst das jährliche  
Gesamtbudget



Foto: Gesine Born

# EIN EID DES HIPPOKRATES FÜR ALLE FORSCHER?

Der Wissenschaftsjournalist Ranga Yogeshwar und der Präsident der Helmholtz-Gemeinschaft Otmar D. Wiestler diskutieren über die Rolle der Wissenschaft in der Gesellschaft – und warum sie sich damit manchmal schwertut

**Herr Yogeshwar, Herr Wiestler, die Wissenschaft spielt in den Sozialen Medien wie Facebook, Twitter oder YouTube eine immer größere Rolle. Ist das ein Segen oder ein Fluch?**

**Wiestler:** Soziale Medien sind für die Wissenschaft wie für viele andere Menschen zunächst einmal ein wunderbares Kommunikationsmittel. Sie erlauben uns einen Informationsaustausch mit einer Geschwindigkeit, die vor 20 Jahren noch undenkbar war. Soziale Medien haben leider auch andere Effekte. Sie können mit einer unglaublichen Geschwindigkeit Meinungen verbreiten, die aus der Sicht der Wissenschaft falsch sind, die nicht auf Fakten beruhen.

**Yogeshwar:** Wissenschaft hat keinen Absolutheitsanspruch und lebt vom Dialog. Und dafür eignen sich die Sozialen Medien hervorragend. Der Dialog wird breiter und jeder Forscher wird dabei auch intensiver mit Kritik konfrontiert. Doch die Grundlage der Wissenschaft ist die Aufklärung. In den Sozialen

Netzen hingegen vollzieht sich eine zunehmende Abkapselung. Es entstehen abgetrennte Räume, in denen einzelne Gruppen ihre eigene Wahrheit propagieren.

**Wiestler:** Wissenschaft ist ja vor allem dann faszinierend, wenn sie auf Erkenntnisse stößt, die völlig unerwartet sind. Das verlangt absolute Offenheit. Auch Wissenschaftler sind natürlich nicht fehlerfrei. Wir müssen uns ständig selber hinterfragen, ob wir offen genug sind. Vor allem gegenüber denen, die völlig neue Wege gehen, die gegen Konventionen verstoßen und Mauern einreißen.

**Yogeshwar:** Ja, Wissenschaft hinterfragt häufig die etablierte Meinung. Doch hierfür braucht sie den fairen und differenzierten Dialog. In den Sozialen Medien zählt hingegen die Lautstärke: die Zahl der Follower, Freunde oder Klicks. „Gefällt mir“ oder „Gefällt mir nicht“ reichen als Vokabular nicht aus und machen den Mainstream zum relevanten Kriterium. Das garantiert keine Qualität.

## Und wie macht Wissenschaft klar, wo die Grenzen liegen zwischen Qualitätsinformationen und Fake News?

**Yogeshwar:** Menschen wollen Klarheit. Doch wissenschaftliche Erkenntnisse sind aufgrund ihrer Komplexität häufig nicht so eindeutig wie Alltagsphänomene. Oft lesen wir dann in wissenschaftlichen Publikationen: „More research is needed.“ Damit entsteht ein Nährboden für Interpretationen und Spekulationen. In den sogenannten Echokammern der Sozialen Medien erleben wir Abkapselung. Sie verfangen sich in ihren eigenen gefühlten Wahrheiten, befeuert von Populisten und Verschwörungstheoretikern. Hier müssen wir Klarheit schaffen und unserem Auftrag nach Aufklärung folgen.

**Wiestler:** Für uns Wissenschaftler entsteht daraus eine Selbstverpflichtung. Wissenschaft ist etwas, was Menschen eigentlich fasziniert, denn sie bedient die ureigene menschliche Eigenschaft der Neugierde. Mit den neuen Medien haben wir nun einen völlig neuen Zugang zur Öffentlichkeit, um die Faszination dessen, was wir tun, an Menschen zu vermitteln und mit ihnen zu diskutieren. Daraus ergibt sich für uns die Verpflichtung, das, was wir wissen, und das, was wir nicht wissen, viel deutlicher zu kommunizieren.

### Macht Wissenschaft das denn nicht?

**Wiestler:** Nicht ausreichend. Ich will es an zwei Beispielen festmachen: Das eine geht von einer faszinierenden neuen wissenschaftlichen Beobachtung aus, die noch nicht wirklich eingeordnet werden kann. Da müssen wir fragen, ist sie wirklich abgesichert? Könnte nicht auch eine andere Erklärung dahinterstecken? Das müssen wir in aller Offenheit darlegen. Ein zweites Problem entsteht, wenn bahnbrechende wissenschaftliche Entdeckungen gemacht worden sind. Nehmen wir mal CRISPR/Cas, die Genschere, die derzeit in aller Munde ist. Da muss aufklärende Wissenschaft frühzeitig darauf hinweisen, dass solche Erkenntnisse Anwendungen versprechen, die außerordentlich nützlich sein können, viel Gutes bewirken können, etwa neue Behandlungen von Erkrankungen. Gleichzeitig muss deutlich werden, dass Anwendungen möglich sind, die zu Missbrauch führen können.

Unsere Verpflichtung ist es, auf beide Seiten einer neuen Entdeckung hinzuweisen und Wege für einen verantwortlichen Umgang mit neuen Technologien aufzuzeigen.

**Yogeshwar:** Wir dürfen auch einen anderen Aspekt nicht vergessen. Das ist die öffentliche Erwartung schneller Erfolge. Wenn wir in der Grundlagenforschung eine vielversprechende Entdeckung machen, heißt das nicht automatisch, dass man kurze Zeit später eine bahnbrechende Anwendung entwickelt oder ein neues Medikament auf den Markt kommt. Auch hier müssen wir ehrlich sein.

**Wiestler:** Ich glaube, wir müssen auf jeden Fall sehr viel aufmerksamer sein bei ethisch relevanten Themen. Wissenschaftliche Erkenntnisse kann man nicht einmauern. Man kann ihre Entwicklung auch nicht verbieten. Aber eine Gesellschaft muss sich darauf verständigen, was für sie akzeptabel ist und wo sie eine Grenze setzt.

**Yogeshwar:** Letztlich haben wir nach wie vor die spannende aristotelische Frage zu beantworten, was der Mensch ist, was uns auszeichnet. Was zeichnet uns aus in puncto Entscheidungsfähigkeit? Was zeichnet uns aus an der Schnittstelle von künstlicher Intelligenz und Natur? Sind wir als Individuen in einer künstlichen Welt immer noch Menschen? Programmieren Menschen Maschinen oder umgekehrt? Am Ende geht es um die Frage, was wir in all unserer Freiheit wirklich möchten und wo wir den Eindruck haben, dass etwas missbraucht wird.

## WIR MÜSSEN DAS, WAS WIR WISSEN, UND DAS, WAS WIR NICHT WISSEN, VIEL DEUTLICHER KOMMUNIZIEREN

Otmar D. Wiestler

### OTMAR D. WIESTLER

ist Mediziner und  
Experte für Krebserkrankungen. Seit 2015  
ist er Präsident der  
Helmholtz-Gemeinschaft



**RANGA  
YOGESHWAR**

ist Physiker, Wissenschafts-  
journalist und Moderator  
verschiedener  
Fernsehsendungen

Foto: Gesine Born

**Sollte die Wissenschaft also eine Wächterrolle einnehmen für die Öffentlichkeit?**

**Wiestler:** Wissenschaft hat per se keine Wächterfunktion. Aber Wissenschaft hat die Verpflichtung, ihr Faktenwissen offen und verständlich verfügbar zu machen. Und das kann dann von Instanzen übernommen werden, die eine Wächterfunktion haben, unter anderem der Gesetzgeber. Wir müssen noch viel stärker unsere Stimme erheben. Das war ja beim ‚March for Science‘ im April der Fall. Weltweit sind in 600 Städten über eine Million Menschen auf die Straße gegangen. Sie haben einerseits auf politische Restriktionen hingewiesen, denen die Wissenschaft derzeit in vielen Ländern ausgesetzt ist. Ein- und Ausreiseverbote zum Beispiel, Entlassungen oder Verhaftungen. Sie haben andererseits aber auch deutlich gemacht, dass wir alle genau hinhören sollten, wenn vermeintliche Fakten ungeprüft in Umlauf gebracht werden. Das war ein wichtiger Impuls, um uns alle daran zu erinnern, immer wieder genau zu prüfen, ob Aussagen evidenzbasiert sind oder nicht.

**Yogeshwar:** Jetzt kann man natürlich fragen, ob wir daraus ableiten müssen, dass es eine Art stille Verpflichtung gibt, die Konsequenzen unseres wissenschaftlichen Tuns immer im Hinterkopf zu haben. Schließlich ist Wissenschaft einerseits in der Lage, diese Welt ungemein viel besser zu machen. Andererseits kann die Nutzung wissenschaftlicher Erkenntnis auch ungeheure Schäden anrichten.

**Wiestler:** Ein Eid des Hippokrates für Wissenschaftler, ein ethischer Kodex, dem sich alle unterziehen? Das ist eine interessante Idee, die aus der Medizin kommt. Angesichts der

weitreichenden Wirkungen wissenschaftlicher Erkenntnisse könnte man durchaus darüber nachdenken, wie wissenschaftsethische Prinzipien in unseren Ausbildungsprogrammen künftig im hippokratischen Sinn vermittelt werden.

**Yogeshwar:** Ja, brauchen wir diesen hippokratischen Eid nicht auch in anderen Disziplinen? Ich glaube, man muss zum Beispiel dem Ingenieur, der bei einer Automobilfirma sitzt, ein Argument geben, das ihn stärkt, wenn er in eine zweifelhafte Situation gerät. Dann kann er sagen, ich habe während meines Studiums einen Eid abgelegt, deshalb stelle ich mein Knowhow nicht für fragliche Entwicklungen, wie die Abgasmanipulation, zur Verfügung.

**Sie sagten ja eben schon, der Science March war ein wichtiger Impuls. Brauchen wir eine Fortsetzung davon?**

**Yogeshwar:** Es war an der Zeit, ein Signal zu setzen und zu sagen: Es gibt die Befürworter der Aufklärung. Ich glaube aber auch, dass es langfristig eine Verpflichtung gibt, der Stimme der Aufklärung mehr Gehör zu verschaffen. Die Wissenschaft ist zu lange schweigsam gewesen. Wenn die Budgets für die Forschung stimmen, zieht man sich zurück und arbeitet im Stillen weiter. Aber die Wissenschaft tritt nicht in der nötigen Klarheit an die Öffentlichkeit. Das hat sie nie gelernt. Also ich finde, Wissenschaft ist zu ruhig, auch sie muss lauter werden und sich intensiver in den gesellschaftlichen Dialog einbringen.

**Aber sollte man dieses Aufbruchsignal, das es mit dem Science March weltweit gegeben hat, nutzen, um die Bedeutung der Wissenschaft für die Gesellschaft jetzt viel deutlicher in die Öffentlichkeit zu tragen?**

**Wiestler:** Dazu muss es nicht unbedingt weitere Science Marches geben. Wenn jeder von uns darüber nachdenkt, was man im eigenen Bereich tun kann, um Wissen und seine Bedeutung für gesellschaftlichen Wohlstand weiterzugeben, dann hätten wir schon viel erreicht.

**DIE WISSENSCHAFT TRITT  
NICHT IN DER NÖTIGEN KLAR-  
HEIT AN DIE ÖFFENTLICHKEIT.  
DAS HAT SIE NIE GELERNT**

*Ranga Yogeshwar*

*Die Fragen stellte Roland Koch, Pressesprecher der Helmholtz-Gemeinschaft.*

Mit ihrer Forschung erfüllt sich Carolin Daniel einen Traum, den sie schon als Gymnasiastin hatte

ALLE TEXTE: KILIAN KIRCHGESSNER

Der beste Name für die kleinen Zellen, an denen sie forscht, fiel Carolin Daniel ein, als sie gerade im amerikanischen Boston im Labor stand. „Eigentlich“, sagte sie sich damals, als sie wieder einmal erklären sollte, womit sie sich beschäftigt, „arbeiten die regulatorischen T-Zellen wie die ‚Blauhelmsoldaten‘ des Immunsystems.“ Seither hat sich dieser einprägsame Begriff etabliert, und tatsächlich, sagt Carolin Daniel, seien die Parallelen erstaunlich: „Diese Zellen sind besonders wichtig, um ungewollte Immunreaktionen zu verhindern.“

Am Helmholtz Zentrum München leitet die Immunologin eine Arbeitsgruppe, die einem Impfstoff gegen Typ-1-Diabetes auf der Spur ist. Die Fortschritte sind bemerkenswert – bei einem Modellorganismus

funktioniert das neuartige Vorgehen bereits. Beim Typ-1-Diabetes zerstören körpereigene Immunzellen die Betazellen der Bauchspeicheldrüse, in denen Insulin produziert wird – jenes Hormon, das den Blutzuckerspiegel reduziert. Üblicherweise rücken dann regulatorische T-Zellen aus, die den Angriff auf körpereigene Zellen verhindern – so wie Blauhelmsoldaten in Krisengebieten. Ist ein Mensch allerdings an Typ-1-Diabetes erkrankt, ist die Funktion oder die Anzahl dieser Blauhelme eingeschränkt.

Genau da setzt die Forschung an, die Carolin Daniel mit ihrem Team verfolgt: Sie will die Schutztruppe verstärken – mit einer speziellen Impfung, die künftig besonders Kindern helfen könnte. Immer mehr von ihnen erkranken an Typ-1-

Diabetes. „Mittlerweile haben wir Systeme entwickelt, mit denen sich ein humanes Immunsystem sehr gut nachstellen lässt“, sagt Carolin Daniel: „In diesen präklinischen Studien kann die Funktion der Blauhelme nach einer solchen Impfung genau untersucht werden. Dies ist wichtig für den zukünftigen Erfolg einer solchen Therapie.“

## T-ZELLEN, DIE BLAUHELM SOLDATEN DES IMMUNSYSTEMS

Mit ihrer Forschung erfüllt sich Carolin Daniel einen Traum, den sie schon als Gymnasiastin hatte: „Damals machten wir mit der Klasse eine Exkursion in ein Forschungszentrum. Das hat mich sofort gepackt.“ Und dass die Ergebnisse ihrer Arbeit zügig den ersten Patientinnen und Patienten helfen, sei ihr auch wichtig – so landete sie bei der Immunologie. In ihrer Doktorarbeit beschäftigte sie sich mit chronisch entzündlichen Darmkrankungen und stieß dabei auf die regulatorischen T-Zellen, für die sie später den Begriff Blauhelmsoldaten prägte. Die gibt es in verschiedenen Bereichen des Körpers. „Ich fand sie gleich faszinierend und wollte einen Schritt zurücktreten, um sie besser zu verstehen: Was charakterisiert sie, was kann man mit ihnen machen?“ Um das zu erforschen, ging sie nach Boston an die renommierte Harvard Medical School, wo sie sich auf den Typ-1-Diabetes konzentrierte. Am Helmholtz Zentrum München knüpft sie daran jetzt mit einer eigenen Arbeitsgruppe an. Wenn sie weiter in die Geheimnisse der regulatorischen T-Zellen eindringt, könnten sich daraus auch Therapie-Ansätze für andere Autoimmunkrankheiten ergeben – zum Beispiel für Multiple Sklerose.

Von ihrem Schreibtisch aus hat Carolin Daniel ein Plakat im Blick, das die junge Marie Curie zeigt, die zweifache Nobelpreisträgerin. Daneben steht ein Zitat von ihr: „Unsere spezielle Pflicht ist es, denen zu helfen, denen wir am meisten Nutzen bringen können.“ Ist das so etwas wie ein Motto für ihre Forschung? Carolin Daniel nickt: „Das ist doch ein wunderbarer Satz, oder?“

### GESUNDHEIT

# DEM DIABETES AUF DER SPUR

—  
6  
—

#### CAROLIN DANIEL

leitet die Arbeitsgruppe  
Immuntoleranz in Diabetes  
am Helmholtz Zentrum  
München

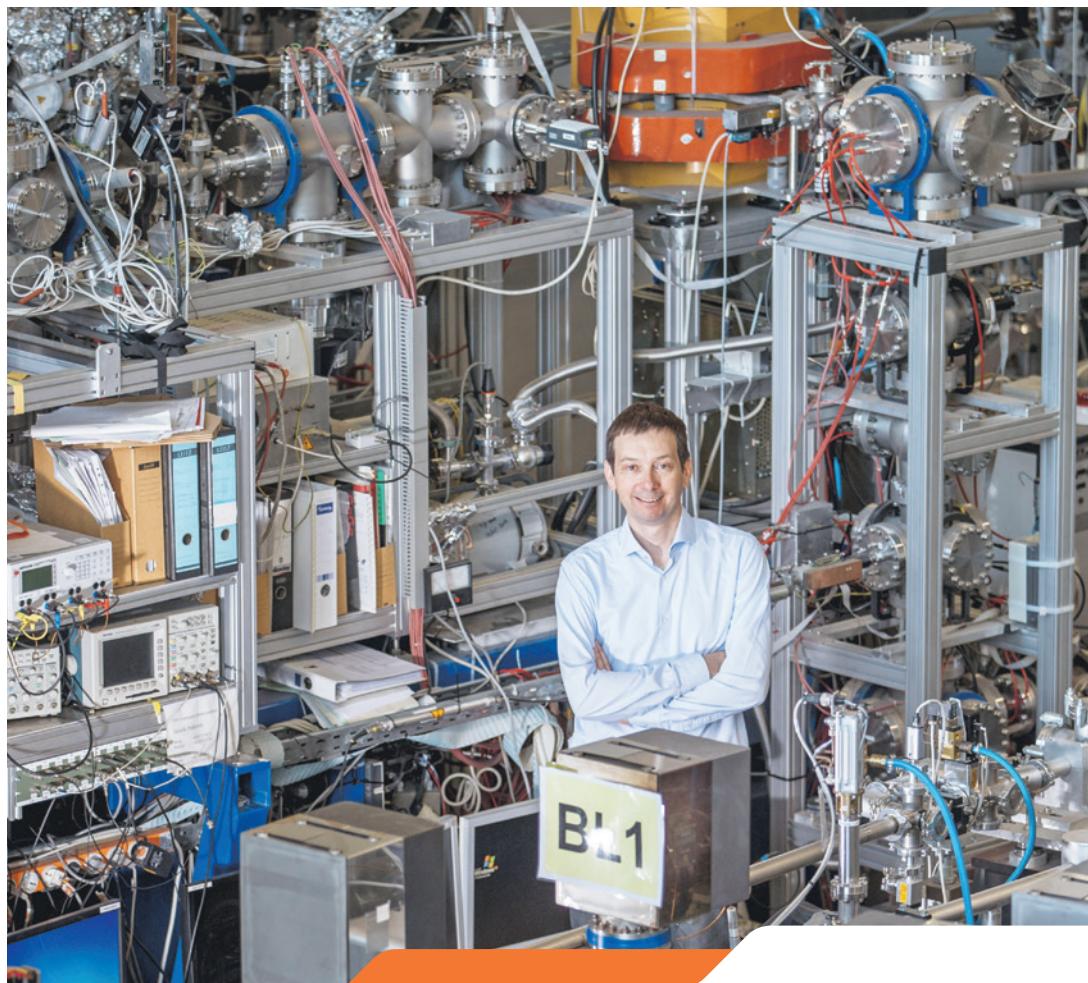
## MATERIE

UNSICHTBARES  
SICHTBAR MACHEN

In dem Moment, der für seine Forschung entscheidend sein sollte, stand Henry Chapman in einem unterirdischen Kontrollraum im kalifornischen Palo Alto

**D**utzende Kolleginnen und Kollegen aus aller Welt umringten ihn, gebannt starrten sie auf die Computerschirme, die anzeigen sollten, was ein paar Meter entfernt in einer gewaltigen Maschine namens Röntgenlicht-Freie-Elektronen-Laser passiert. Dann flackerten auf einmal Muster über die Bildschirme, und Henry Chapman wusste, dass er mit seinen Theorien Recht hatte. „Das war eine riesige Erleichterung damals“, sagt er heute, wenn er auf jenes Experiment im Jahr 2009 zurückblickt. Seitdem erreichte Chapman, der sein Büro im Deutschen Elektronen-Synchrotron

**DIESES STREUBILD  
WAR IMMER DA,  
ABER NIEMAND HAT  
IHM BEACHTUNG  
GESCHENKT**



(DESY) in Hamburg hat, noch weitere bahnbrechende Durchbrüche. Kristallographie heißt die Disziplin, in der er arbeitet. Das Ziel: Sichtbar machen, was unsichtbar ist.

„Um die Struktur von Molekülen zu verstehen, muss man wissen, wie die einzelnen Atome angeordnet sind“, sagt der Brite, dessen Englisch seine Zeit in Australien bezeugt. „Dazu braucht man Licht mit sehr kurzer Wellenlänge, also Röntgenstrahlen.“ Die allerdings sind so energiereich und intensiv, dass sie viele Moleküle zerstören. „Das ist so ähnlich, als hätten wir eine geheime Botschaft auf einem Papier“, erklärt Henry Chapman und schmunzelt: „Um sie zu lesen, müssen wir das Licht anmachen – aber leider ist die Botschaft lichtempfindlich und wird dabei sofort zerstört.“ Fast seine gesamte Forscherkarriere beschäftigt er sich mit der Frage, wie sich die geheimen Buchstaben trotzdem lesen lassen.

Wenn das gelingt, öffnet das ungeahnte Möglichkeiten: Das Wissen um die räumliche Struktur eines Moleküls hilft beispielsweise bei der Entwicklung neuer Medikamente. Irgendwann, so hofft Henry Chapman, könnte man mit den immer besseren Geräten vielleicht sogar die chemischen Reaktionen beobachten, die ablaufen, wenn Proteine aufeinandertreffen.

Solche Hoffnungen scheinen durchaus berechtigt, denn der Physiker ist mit seinem Team aus Biochemikern, Mathematikern und Computerexperten seit jenem denkwürdigen Tag im kalifornischen Palo Alto immer weiter in die Geheimnisse der Moleküle vorgedrungen. Dafür benutzt er einen Umweg: Unter dem speziellen Röntgengerät betrachtet er nicht einzelne Moleküle, sondern konzentriert sich auf Kristalle, die aus den Molekülen gezüchtet werden – und deren Struktur preisgeben.

Diese Methode wird schon länger genutzt. Das Problem allerdings war stets, dass sich aus manchen Molekülen nur kleine, schlecht geordnete Kristalle züchten ließen, die kaum Rückschlüsse auf das Molekül zulassen – „so zumindest dachten Forscher bisher“, sagt Henry Chapman. „Wir haben herausgefunden, dass auch das schwache Streubild, das selbst die unordentlichen Kristalle abgeben, viel über die Molekülstruktur verrät. Dieses Streubild war die ganze Zeit da, aber niemand hat ihm Beachtung geschenkt, es galt eher als störender Untergrund.“

Mit komplexen Algorithmen konnte er diese Streubilder entschlüsseln. Inzwischen ist bei DESY ein neuer Röntgenlaser im Einsatz, der so viele Aufnahmen aus dem Innern der Kristalle erzeugt, dass gewaltige Datenmengen analysiert werden müssen – die nächste Herausforderung für Chapman und sein Team.

Und, stehen sie Schlange vor seinem Büro, die Biologen, die ihre speziellen Moleküle analysiert haben möchten? Chapman winkt ab. „Wir sind nicht interessiert daran, massenhaft Moleküle zu analysieren, das können mittlerweile viele. Wir kümmern uns um die, die ein scheinbar unlösbares Problem bei der Analyse haben.“ Für Geheimschriften solcher Art ist Chapman inzwischen ja Experte.

**HENRY CHAPMAN**

ist Gründungsdirektor des Center for Free-Electron Laser Science am Deutschen Elektronen-Synchrotron und leitet dort die Abteilung Kohärente Röntgenbildgebung. Im Jahr 2015 erhielt er den Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis



ERDE UND UMWELT

## ENTDECKUNG DER TIEFSEE

Antje Boetius würde gerne wie Kapitän Nemo im U-Boot sitzen und die Weltmeere von unten anschauen

### ANTJE BOETIUS

ist Professorin für Geobiologie an der Universität Bremen. Am Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, und am Max-Planck-Institut für marine Mikrobiologie leitet sie die Gruppe für Tiefsee-ökologie und -forschung

Es muss ein Gefühl sein wie vor Hunderten von Jahren, als die Naturforscher zu fremden Kontinenten aufbrachen, um neue Arten zu entdecken und die Erde zu vermessen. Antje Boetius knüpft nahtlos an diese große Ära an: Zu ihren Tiefsee-Expeditionen ist sie auf den größten Forschungsschiffen weltweit unterwegs, an Bord sind U-Boote, unbemannte Tauchroboter und hochkomplexe Messsysteme. „Wir erstellen Karten von Regionen, die noch nie zuvor jemand gesehen hat“, sagt die Meeresbiologin vom Alfred-Wegener-Institut.

Unbekannte Lebensräume im Meer haben es ihr angetan, und davon gibt es viele: zum Beispiel unter dem Eis der Polarmeere oder im sturmgepeitschten Südozean. Bei ihrer jüngsten Expedition, die erst wenige Monate zurückliegt, fanden Antje Boetius und ihr Team gewaltige Schwamm-Landschaften am Karasik-Seeberg in der zentralen Arktis. „Auch unter dem Eis ist die Tiefsee keine Wüste“, sagt Antje Boetius: „Es gibt dort noch so

viel zu entdecken und gleichzeitig ändert sich schon alles!“

Mit dieser Botschaft macht sich die Forscherin immer wieder zu Vorträgen auf den Weg. In ihnen sensibilisiert sie dafür, wie empfindlich das Ökosystem ist, das weit unter dem Meeresspiegel liegt. Wenn sie aus dem Fenster eines U-Bootes schaut oder die Aufnahmen von Tiefsee-Kameras auswertet, sieht sie schon heute Spuren des Klimawandels, aber auch direkter Eingriffe des Menschen.

### WIR ERSTELLEN KARTEN VON REGIONEN, DIE NOCH NIE JEMAND GESEHEN HAT

Derzeit gerät die Tiefsee zunehmend in den Blick von Investoren, die Unterwasser-Bergbau betreiben wollen. „Seeberge sind häufig vulkanischen

Ursprungs und reich an Nickel, Kupfer und seltenen, wertvollen Metallen. Viele liegen in internationalen Gewässern, da braucht es dringend internationale Abkommen und Bestandsaufnahmen für den Naturschutz“, sagt Antje Boetius. „Während wir Forscher in der Tiefsee noch immer Entdecker sind, dienen unsere Beobachtungen dem Schutz der Meere und ihrer Bewohner.“

In den vergangenen Jahren war Boetius vor allem in den Polarregionen unterwegs. Dort testete sie mit ihrem internationalen Team zuletzt nagelneue High-Tech-Forschungsgeräte: Tauchroboter etwa, die unter Eisschollen entlangfahren und zum Meeresboden abtauchen. Sie bringen Erkenntnisse über die entlegensten Regionen der Welt mit, wo Menschen nicht tauchen können. Für die Forscherin ist die Vielfalt an Arten und Lebensräumen im Meer an sich ein Schatz. In ferner Zukunft könnte darin sogar der Schlüssel zu medizinischen Fortschritten liegen: „In der Tiefsee erreichen einige Lebewesen, deren Verwandte im Flachwasser ein paar Jahre alt werden, eine Lebensdauer von Jahrzehnten oder gar Jahrhunderten. Wie funktioniert das?“

Vor allem will Antje Boetius erforschen, welche Rolle der Ozean für die Entstehung und die Zukunft des Lebens auf der Erde spielt. Vor einigen Jahren machte sie einen spektakulären Fund: Kleine Mikroorganismen entdeckte sie, die Methangas im Meeresboden veratmen. Wenn es diese Organismen nicht gäbe, vermutet Boetius, wäre die Erde wohl zu warm für menschliches Leben.

Während sie in ihrer Arbeit zwischen Forschungsschiff, Laboren, Büros und Konferenzräumen pendelt, träumt sie manchmal von einer Expedition, wie es sie bislang nur bei Jules Verne gibt: „Ich fände es phantastisch, mehrere Wochen unter Wasser zu leben und direkt mitzubekommen, wie das Leben dort funktioniert – einfach wie Kapitän Nemo im U-Boot zu sitzen und mir die Weltmeere von unten anzuschauen.“ So wie eine Entdeckerin der Tiefsee; zu Orten reisen, die noch kein menschliches Auge gesehen hat, und davon erzählen, was unser blauer Planet noch für Geheimnisse birgt.



ENERGIE

# SONNENENERGIE FÜR FORTGESCHRITTENE

Thomas Klinger ist Direktor eines der komplexesten deutschen Forschungsgeräte. Sein Ziel: die Kernfusion

**THOMAS KLINGER**

ist Professor für experimentelle Plasmaphysik an der Universität Greifswald, Direktoriumsmitglied am Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und wissenschaftlicher Leiter der Fusionsanlage Wendelstein 7-X

„**N**atürlich kenne ich die Bedenken, die manche bei unserer Forschung haben. Die Kernfusion komme schlicht zu spät - bis sie funktioniert, brauche man sie nicht mehr. Andere wollen lieber dezentrale Energiequellen als große Reaktoren, und manche sträuben sich auch schlicht gegen alles, was mit nuklearer Energie zu tun hat.

Dabei kann das, woran wir forschen, ein wichtiger Beitrag zur Lösung der Energieprobleme auf der Welt werden. Kernfusions-Reaktoren sind nicht zu vergleichen mit klassischen Atomkraftwerken, in deren Reaktionskammern der Brennstoff tonnenweise lagert - die Brennkammer für die Kernfusion würde ein einziges Gramm Gas enthalten.

Es ist das gleiche Prinzip, nach dem die Sonne funktioniert: Leichte Kerne verschmelzen zu schwereren. Dass das klappt, ist schon lange nachgewiesen. Wir arbeiten jetzt daran, dass diese Fusionsprozesse möglichst häufig funktionieren.

Dazu dient unsere Fusionsforschungsanlage Wendelstein 7-X in Greifswald. Im Innersten von Wendelstein 7-X befindet sich eine ringförmige Kammer, die Torus genannt wird. Sie sieht aus wie ein riesiger, verwundener Traktorreifen, elf Meter im Durchmesser. Darin erzeugen wir Wasserstoffplasma - ein Gas, das mehr als 100 Millionen Grad heiß ist. Um diese hohen Temperaturen zu erreichen, darf das Plasma nicht mit der Toruswand in Kontakt kommen. Deshalb halten wir es mit einem Magnetfeld, das wir mit starken Magneten erzeugen, in der Mitte der Kammer fest.

In einem künftigen Kraftwerk werden bei den hohen Temperaturen die Atome aus schwerem und super-schwerem Wasserstoff zu Helium fusionieren. Quasi als Nebenprodukt der Fusion entstehen Neutronen, die sich vom Magnetfeld nicht beeinflussen lassen. Sie treten deshalb mit hoher Geschwindigkeit in spezielle Wandelemente des Torus ein und erhitzen diese durch ihre Bewegungs-

energie. Aus dieser Wärme können wir Dampf erzeugen und mit Hilfe von Generatoren elektrische Energie herstellen. Das ist in Kürze das Prinzip, wie die Kernfusion funktioniert. Theorien und auch Experimente dazu gibt es schon seit den 1950er Jahren. Es sind immer neue Generationen von Versuchsanlagen entstanden, in die alle neuen Erkenntnisse eingeflossen sind. Unsere Anlage Wendelstein 7-X ist seit zwei Jahren in Betrieb, sie stellt die neueste Generation dar. Auf den heutigen Stand kamen wir nur dank des Fortschritts in anderen Disziplinen: Superrechner zum Beispiel und neue Erkenntnisse in der numerischen Mathematik waren die Voraussetzung dafür, dass wir die Anlage bauen konnten.

In unserem Wendelstein 7-X haben wir bereits Wasserstoff-Plasmen erzeugt. Unser nächstes Ziel ist jetzt, ein solches Plasma nicht nur für kurze Zeit zu erzeugen, sondern für eine halbe Stunde. Das ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einem künftigen Dauerbetrieb, wie er für die Energieerzeugung nötig wäre.



**LEICHTE KERNE  
VERSCHMELZEN ZU  
SCHWEREREN. DASS  
DAS KLAPPT, IST  
LANGE BEWIESEN**

Ich werde oft gefragt, ob unsere Generation noch einen Kernfusionsreaktor erlebt. Das hängt ein bisschen davon ab, antworte ich dann, wie gut wir uns pflegen. Aber ganz im Ernst: Unsere Arbeit ist Vorsorgeforschung für die zweite Hälfte des Jahrhunderts. Für unsere Generation reichen die vorhandenen Energiequellen noch locker aus. Aber ich fände es egoistisch, deshalb nicht zu forschen. Wir müssen heute die Grundlagen dafür legen, dass auch unsere Kinder und Enkel ausreichend Energie haben werden - und genau daran arbeiten wir.“



## DAVID DIVINCENZO

leitet das Peter Grünberg Institut für Theoretische Nanoelektronik am Forschungszentrum Jülich und lehrt am Institute for Theoretical Quantum Information der RWTH Aachen. Außerdem ist er einer der beiden Gründungsdirektoren des JARA-FIT Instituts für Quanteninformation

### SCHLÜSSELTECHNOLOGIEN

# „TORE ZU EINER GANZ ANDEREN WELT“

Auch wenn es noch „ein paar Probleme“ gibt: Der Quantencomputer kommt. Davon ist David DiVincenzo überzeugt

**A**ls Werner Heisenberg einmal gefragt wurde, wie man sich die Quantenphysik vorstellen solle, sagte er nur: „Versuchen Sie's lieber erst gar nicht!“ Hat Sie das nie abgeschreckt?

Ach, diese alten Zitate! Die sind doch längst überholt. Man sagte ja auch einmal, dass nur sechs Menschen auf der ganzen Welt die Relativitätstheorie verstehen könnten, und heute ist sie gar nicht mehr so mysteriös. Eines haben die Quantenphysik und die Relativitätstheorie übrigens gemeinsam: Wer sich damit beschäftigt, den bringen diese Dinge aus seiner Alltagserfahrung heraus, denn deren Regeln gelten dort auf einmal nicht mehr. **Sie arbeiten an den Grundlagen dafür, dass eines Tages Quantencomputer gebaut werden können. Was können die, was bisherige Rechner nicht können?**

Dafür gehe ich ein bisschen in die Geschichte zurück. Nehmen

Sie die erste Rechenmaschine, den ENIAC-Computer aus dem Jahr 1946, ein raumgroßes Gerät. Es folgte eine Innovation, dann die nächste, die Rechenleistung stieg immer weiter und die Geräte wurden immer kleiner. Bei einem Supercomputer von heute reicht ein einziger Millimeter für die Rechenleistung, die ENIAC damals schaffte. Aber das Funktionsprinzip ist immer noch das gleiche. Wir gehen jetzt eine Ebene zurück und arbeiten an einem völlig neuen Funktionsprinzip. Diese neuen Computer werden so weit entfernt sein von den heutigen Supercomputern, wie diese Supercomputer von den ersten Rechenmaschinen.

**Ein gewaltiger Fortschritt. Wodurch wird der möglich?**

Sehr grob erklärt: Heute rechnen Computer mit Bits, die nur die beiden Werte ‚0‘ oder ‚1‘ annehmen können. Ein Quantencomputer arbeitet mit Quantenbits, den sogenannten Qubits. Die können beliebig viele Zwischenzustände annehmen. Dadurch werden Quantencomputer gewaltige Mengen an Informationen speichern und verarbeiten können.

**Das klingt einfach. Wo ist der Haken?**

Vor einer praktischen Umsetzung müssen wir tatsächlich noch ein paar Probleme lösen: Wir müssen zum Beispiel die Quantenzustände der Qubits länger aufrechterhalten, als wir das bislang können. Wir müssen sehr viele Qubits miteinander verschränken und wir brauchen einen Algorithmus, der Rechenfehler von Quantencomputern korrigiert – das alles sind Baustellen, auf denen Forscherteams bei uns derzeit arbeiten.

## WIR ARBEITEN AN EINEM VÖLLIG NEUEN FUNKTIONS-PRINZIP

**Ab wann arbeiten wir denn mit Quantencomputern?**

Ich glaube, es wird keinen harten Übergang geben. Das zeigt sich ja auch jetzt schon: IBM zum Beispiel hat unlängst einen ersten Quantencomputer in Betrieb genommen mit 16 Qubits, und Google hat für das nächste Jahr ein 49-Qubit-Gerät angekündigt. Das sind natürlich Prototypen, die noch erforscht werden. Schon 100 Qubits aber

übertreffen alles, was man mit einem klassischen Computer von heute tun könnte.

**Wird der Quantencomputer mit der erhofften gewaltigen Rechenleistung etwas an der Art verändern, wie Menschen leben?**

Die Frage muss man sich ja schon weit früher stellen, nicht nur in Zusammenhang mit den Quantencomputern. Wir diskutieren heute über autonome Systeme wie selbstfahrende Autos, wir reden über künstliche Intelligenz und andere Phänomene – da werden Tore zu einer ganz anderen Welt aufgestoßen. Die Quantencomputer sind nur ein Teil davon. Wissen Sie, woran ich dabei denken muss?

Na?

Es gibt da einen kolportierten Dialog zwischen dem Physiker Michael Faraday, der mit seinen Entdeckungen die Grundlage für die Elektroindustrie legte, und dem englischen Premierminister. Der Premier fragte: „Was genau ist der Nutzen dieser Elektrizität?“ Und Faraday antwortete: „Keine Ahnung – aber eines Tages werden Sie sie besteuern.“ An einen ähnlichen Punkt werden wir mit den Quantencomputern auch kommen.

# AUF EINEN TANZ MIT DEM ROBOTER

Dongheui Lee möchte das ‚Gesamtkunstwerk‘ des Lernens auf künstliche Wesen übertragen

Die Beine sind eindeutig zu erkennen, oben links auf der riesigen Skizze prangen sie mitsamt dem Knie- und Hüftgelenk, umzingelt von komplizierten Formeln und Diagrammen. „Da hatten wir neulich ein Brainstorming“, sagt Dongheui Lee und zeigt auf die vollgekritzelte Tafel: „Das ist das Schema eines humanoiden Roboters, und wir überlegen gerade, wie sich seine Bewegungen verändern müssen, wenn er vom Gehen ins Rennen wechselt.“

## ROBOTER MÜSSEN WIE MENSCHEN BLITZSCHNELL UND FLÜSSIG DAS RICHTIGE TUN

Was Dongheui Lee mit ihrem Team am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) vor den Toren Münchens ausprobiert, kann sie genau genommen auch zu Hause beobachten: Ihr Sohn ist im Kindergartenalter, jeden Tag lernt er etwas dazu, jeden Tag perfektioniert er Bewegungs- und Reaktionsmuster. Genau das will Lee auf Maschinen übertragen. „Mich interessiert, wie sie von selbst Verhaltensweisen lernen können.“ Womit sie wieder bei ihrem Sohn ist: „Er brauchte etwa ein Jahr, bis er laufen konnte – ein langer Prozess, in dem er andere beobachtete, nachahmte und schließlich seine Bewegungen immer besser aufeinander abstimmt“. Lee will dieses ‚Gesamtkunstwerk‘ des Lernens auf künstliche Wesen übertragen. Schon heute gibt es überall Roboter. Zuhause kurven selbstfahrende Staubsauger und Rasenmäher herum, in Fabriken setzen gewaltige

Roboterarme eigenständig Schweißpunkte oder biegen Bauteile. Die nächste Stufe, davon ist die Forscherin überzeugt, sind Roboter, die nicht bloß ein Programm abspulen, sondern die mit den Menschen interagieren.

Doch der Weg dorthin ist steinig. Nicht nur, dass Roboter dafür ihre Umgebung wahrnehmen und daraus die richtigen Schlüsse ziehen müssen – nein, sie müssen alle diese Schritte auch simultan ausüben. Sie dürfen nicht erst beobachten, dann analysieren und schließlich reagieren. Sie müssen wie ein Mensch blitzschnell und flüssig das Richtige tun.

Dongheui Lee öffnet auf ihrem Computer ein Video: Es zeigt sie mit dem Roboter Justin, der ein bisschen aussieht wie ein Mensch. Gemeinsam üben sie das Tanzen. Lee nimmt Justins Roboterarm und bewegt ihn im Takt – und als sie loslässt, kann Justin die Bewegung exakt nachmachen.

Bei einfachen motorischen Fähigkeiten klappt es schon, das Lernen – jetzt soll es an kniffligere Aufgaben gehen.

Darin liegt auch der Grund, dass sich das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt für die Roboterforschung interessiert: Auf der Internationalen Raumstation zum Beispiel könnten Roboter die Außenhülle reparieren oder bei künftigen Marsmissionen eigenständig Bodenproben einsammeln. Oder sie bringen den Müll zur Erde zurück, der durch das Weltall fliegt und Satelliten bedroht. Aber auch auf der Erde könnten sich intelligente Roboter nützlich machen: Als Unterstützung

bei komplizierten Operationen oder als Pfleger von Kranken und Alten. Langsam werden immer komplexere Roboter zum Einsatz kommen, davon ist Dongheui Lee überzeugt. Die Smartphones von heute, so ist ihre Vermutung, bekommen nach und nach Motoren und übernehmen neue Aufgaben – eine langsame Entwicklung hin zu selbstständig lernenden Robotern. „Bis ich in Rente gehe“, sagt sie, „wird es sie geben.“



### DONGHEUI LEE

ist Associate Professor für Menschzentrierte Assistenzrobotik an der TU München und leitet eine Arbeitsgruppe am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt



# DEVELOPING YOUR CAREER

At Helmholtz we make your career a priority. Together, we create a highly supportive environment underpinned by strategic talent management programs: [www.helmholtz.de/clp](http://www.helmholtz.de/clp)

Watch our new video and find out more about Helmholtz:  
[www.helmholtz.de/imagefilm](http://www.helmholtz.de/imagefilm)



## Impressum

**HERAUSGEBER** Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren e.V., Ahrstraße 45, 53175 Bonn, [www.helmholtz.de](http://www.helmholtz.de) **PROJEKTLEITUNG** Roland Koch **PROJEKTASSISTENZ** Stephanie Lochmüller **VERLAG** TEMPUS CORPORATE GmbH – Ein Unternehmen des ZEIT Verlags, Büro Berlin: Alt-Moabit 94, 10559 Berlin **GESCHÄFTSFÜHRUNG** Jan Hawerkamp **PROJEKT- UND REDAKTIONSLEITUNG** Dr. Joachim Schüring **BILDREDAKTION** Beatrice Jansen **GRAFIK** Peter Groböhme, Isabell Zirbeck **KORREKTORAT** Wiebke Hensle **HERSTELLUNG** Dirk Woschei **DRUCK** Bechtle Verlag&Druck **VERTRIEB** Das Magazin liegt am 14.09.2017 der Wochenzeitung DIE ZEIT bei