

# in2science

Das Magazin über Menschen mit Ideen



#6

Den Sturm erproben • Der Magnesium-Papst  
Formgedächtnis • Robotik neu gedacht  
Schlaflos im Labor • Werkstoffe enträtseln

 **Helmholtz-Zentrum  
Geesthacht**  
Zentrum für Material- und Küstenforschung

# Relevante Zukunftsfragen! Antworten aus der Wissenschaft?

Wir haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des HZG gefragt: Mit welchen relevanten Fragen beschäftigt ihr euch? Was ist das Ziel eurer Arbeit?



“ Elisabeth Viktor  
(Climate Service  
Center Germany)

Klimaservice ist eine noch relativ junge wissenschaftliche Disziplin. Wir beschäftigen uns mit der Frage, wie

Ergebnisse aus der Klimaforschung wirksam in Entscheidungsprozesse von Unternehmen oder Behörden integriert werden können und mit welchen Formaten. Zum Beispiel ist es für ein Windenergieunternehmen zentral zu wissen, welche Regionen sich heute und in Zukunft optimal für die Energiegewinnung eignen. Dafür entwickeln und verwenden wir wissenschaftliche Modelle und arbeiten eng mit Praxispartnern zusammen. Relevantes Wissen über den Klimawandel ist wichtig für die Gesellschaft, damit wir die Risiken und Gefahren des Klimawandels besser einschätzen lernen und Lösungen finden können, wie wir künftig damit zurechtkommen.



“ Dr. Maria Balk  
(Aktive Polymere)

Innerhalb meiner Forschungsarbeiten beschäftige ich mich mit dem Design von Hydrogelen mit einem Formgedächtniseffekt. Dabei kann ein Material mit einer bestimmten ursprünglichen Form durch Deformation in eine andere, temporäre Form gebracht werden. Bei diesen Hydrogelen

kann dann diese temporäre Form fixiert werden. Wenn ich nun einen externen Stimulus, also einen äußeren Reiz anwende, kann ich die originale Form wiederherstellen. Diese Materialien sind insbesondere für biomedizinische Anwendungen wichtig, zum Beispiel für intelligente Implantatmaterialien. Hierbei können diese Materialien auf der einen Seite die mechanischen Eigenschaften von weichem, physiologischen Gewebe imitieren, und auf der anderen Seite können sie durch den Formgedächtniseffekt minimal invasiv in den Körper hineingebracht werden. Dazu könnte ein kleiner Schnitt gemacht werden und das Material in einer komprimierten Form in den Körper eingeführt werden. Im Körper könnte es dann die originale Form, die es haben soll, wieder einnehmen, wenn ein externer Reiz angewandt wird.



“ Dr. Jörg Hammel  
(Werkstoffphysik)

Ich bin ein Beamline-Wissenschaftler. Das heißt, ich unterstütze externe Gruppen bei ihren Experimenten

und entwickle auf der anderen Seite unsere Untersuchungsmethode, die Computertomographie, weiter. Wir nutzen die weltgrößte Röntgenquelle, die ein ganz besonderes Röntgenlicht zur Verfügung stellt, um damit Einblicke in Objekte zu gewährleisten, die auf anderem Weg nicht möglich sind. Damit sehen wir in den Mikro- und Nanokosmos von Werkstoffen oder Objekten. Und das nicht nur in zwei Dimensionen, sondern wirklich auch in der dritten Dimension. So können wir Objekte virtuell am Computer abbilden und zerstörungsfrei in diese Objekte hineinschauen. Das spielt in vielen Wissenschaftsdisziplinen eine Rolle: das kann die Materialwissenschaft sein, geht aber auch in die Lebenswissenschaften, also Medizin, Biologie, Archäologie und auch in die Geowissenschaften hinein.



“ Dr. Jan Bohlen  
(Magnesium  
Innovation  
Centre MagIC)

Ich forsche an Magnesiumknetlegierungen und versuche, den Baukasten, den die Natur uns mitgibt, zu nutzen, um Legierungen zu entwickeln und Eigenschaften für Anwendungen als Leichtbaumaterial oder als Biomaterial zu verbessern. Durch Magnesium bekomme ich z.B. Autos leichter, weniger Treibstoff wird verbraucht, es gibt weniger Schadstoffausstoß – ein hochaktueller gesellschaftlicher Vorteil. Andererseits korrodiert Magnesium stark, es eignet sich deshalb für bioabbaubare Implantatwerkstoffe. Das bedeutet, man kann ein Implantat operativ in den Körper einsetzen, muss es aber nicht in einer weiteren Operation entfernen, wenn es sich kontinuierlich auflöst.



“ Ina Teutsch  
(Systemanalyse  
und Modellierung)

Das Ziel meiner Arbeit ist es, herauszufinden, warum Extremwellen entstehen. Denn nur, wenn man die Ursachen kennt, ist es möglich, die Wahrscheinlichkeit für solche Monsterwellen vorherzusagen. Mit so einer Vorhersage könnte man sehr viele Menschen davor schützen, auf solche Extremwellen zu treffen. Das Besondere an Monsterwellen ist, dass es Beobachtungen eigentlich schon seit Jahrhunderten gibt, aber dass die Möglichkeit, Monsterwellen nachzuweisen, relativ neu ist.

# Liebe Leserinnen und Leser,



**Relevante Zukunftsfragen!**

**Antworten aus der Wissenschaft?**

– das ist das Motto der Jahrestagung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht 2018.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unseres Zentrums stellen sich tagtäglich großen Herausforderungen: Sie arbeiten daran, Lösungen für Probleme zu finden, die uns als Gesellschaft beschäftigen. Denn nur, wenn wir uns diese Fragen stellen, können wir nachhaltige Wege für eine lebenswerte Zukunft finden. Das Wissen im Bereich der Forschung wächst rasch – aber mindestens genauso schnell nimmt die Komplexität der zahlreichen Fragen zu. Woran die Forschenden des HZG gerade arbeiten, erfahren Sie unter anderem in den Statements im Umschlag dieser Ausgabe der in2science.

Ein besonderer Schwerpunkt liegt in dieser Ausgabe auf der Biomaterialforschung an unserem Standort in Teltow bei Berlin. Im Fokus des Instituts für Biomaterialforschung stehen multifunktionale, polymerbasierte Biomaterialien, zum Beispiel für die regenerative Medizin. In unserer Fotostory sehen Sie, wie die sogenannten Aktuatoren hergestellt werden – und in der Infografik zeigen wir Ihnen, wie diese funktionieren. In einem Interview erklärt Barbara Mazzolai vom Italian Institute of Technology, was Soft Robots sind und was diese mit Biomaterialien zu tun haben.

In der Küstenforschung widmen sich zahlreiche Forscherinnen und Forscher dem Themengebiet Offshore-Windkraftanlagen. Drei von ihnen stellen ihre Projekte in der in2science vor. Dabei geht es zum Beispiel um einen riesigen Datensatz, der es Anlagenbetreibern, Schiffswerften und Reedereien ermöglicht, besser planen zu können.

An einer Beamline am Deutschen Elektronen-Synchrotron haben sich Christina Krywka vom HZG und Jozef Keckes von der Montanuniversität Leoben getroffen und über ihre gemeinsamen Projekte gesprochen. Die beiden Physiker untersuchen das Verhalten von Werkstoffen mit einer weltweit einmaligen Methode: Einer Kombination aus Röntgenstrahl-Diffraktion und Nanoindentation.

Im Porträt werden Institutsleiter Karl Ulrich Kainer aus der Werkstoffforschung und Johannes Bieser aus der Küstenforschung vorgestellt. Und natürlich lesen Sie in der Rubrik „Neues aus dem Zentrum“ viel Spannendes über aktuelle Forschungsergebnisse.

**Wir hoffen, dass Sie die Faszination unserer Forschung und viele spannende Erkenntnisse in diesem Magazin finden.**

**Ihre Redaktion**

*Geert Seidel* *Hilke Hiller*

# Wir freuen uns, Ihnen die sechste Ausgabe der in2science zu präsentieren



Ein Aufruf in eigener Sache:

Sie arbeiten am HZG und haben eine spannende Geschichte oder tolle Kooperation, die Sie gerne teilen möchten? Dann melden Sie sich gerne bei unserer Redaktion. Wir freuen uns über Ideen, Lob und Kritik. Schreiben Sie uns dazu einfach an [in2science@hzg.de](mailto:in2science@hzg.de)

## Impressum

**in2science - Das Magazin über Menschen mit Ideen**  
E-Mail: [In2science@hzg.de](mailto:In2science@hzg.de)

**Herausgeber:** Helmholtz-Zentrum Geesthacht  
Zentrum für Material und Küstenforschung GmbH  
Max-Planck-Str. 1, 21502 Geesthacht  
Fon +49 4152 87 1648, Fax +49 4152 87 1640

**Verantwortliche Redakteure:** Gesa Seidel, Heidrun Hillen,  
Dr. Torsten Fischer (ViSdP)

**Redaktionelle Mitarbeit:** Jenny Niederstadt, Frank Grotelüschen,  
Jochen Metzger

**Satz:** Bianca Seth

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird in der in2science teilweise auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung verzichtet. Wir möchten darauf hinweisen, dass sich die Verwendung der bisher noch üblicheren männlichen Form in diesen Fällen auf alle Personen bezieht.

**Druck:** Hausdruckerei Helmholtz-Zentrum Geesthacht  
Papier/ Envirotop (hergestellt aus 100% Recyclingpapier zertifiziert mit dem Blauen Engel (RAL-UZ 14))

**Juni 2018**  
**Auflage: 2.000**



06



42



14



24



20

30



32



36

**FOTOSTORY**

06 Aktuatoren: Formgedächtnis-Polymere, die hin- und herschalten

**WAS UNS BEWEGT**

14 Den Sturm erproben

**PORTRÄT**

20 Der Magnesium-Papst  
Was bewegt Magnesiumforscher Prof. Karl Ulrich Kainer?

**SO FUNKTIONIERT DAS**

22 Weiche Aktuatoren

**IM GESPRÄCH**

24 Robotik neu gedacht - Interview mit Barbara Mazzolai, Leiterin des Zentrums für Mikro-Biorobotik in Pisa

**PORTRÄT**

30 Johannes Bieser:  
Unterwegs in den Weiten der Wissenschaft

**REPORTAGE**

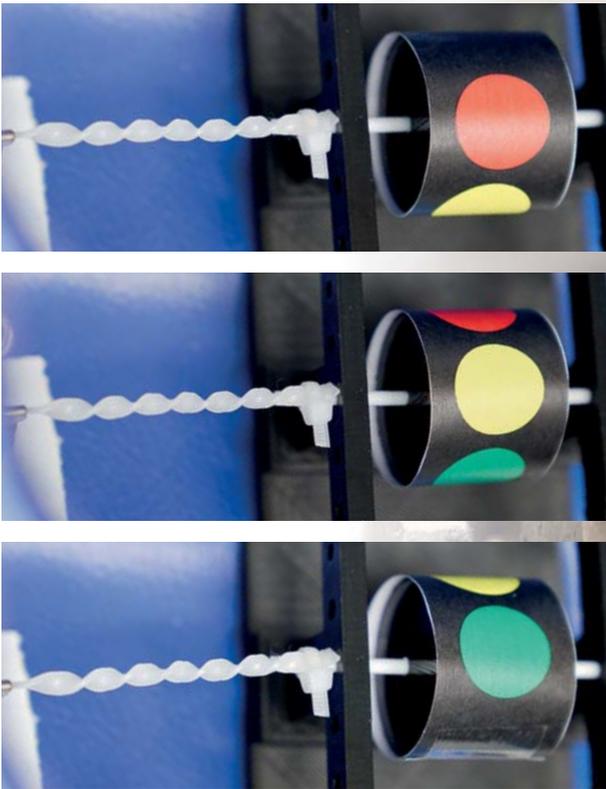
32 Schlaflos im Labor:  
Die aufreibende Suche nach Chromat-freien Ersatzstoffen

**IM GESPRÄCH**

36 Stärker, zäher, härter:  
Wie Wissenschaftler das Verhalten von Werkstoffen enträtseln

**AKTUELLES**

42 Auf dem Weg zum HyScore



Schrittweises Hin- und Herschalten hat in zahlreichen technischen Vorgängen hohe Bedeutung, beispielsweise bei der Ampelschaltung. In diesem Demonstrator treibt der Polymeraktuator die Ampel an und schaltet schrittweise zwischen Rot, Gelb und Grün hin und her.

## Weiche, schrittweise reagierende Aktuatoren

Ein temperatur-sensitiver Polymeraktuator ist jetzt in der Lage, einen umkehrbaren (reversiblen) Bewegungsablauf bei Erwärmung und Abkühlung schrittweise zu vollziehen. Die Formänderung wird also etappenweise vorgenommen, wobei die Bewegung zeitweise pausieren kann, obwohl die Temperaturänderung kontinuierlich vorgenommen wird. Dies gelingt durch die Quervernetzung einer Mischung zweier industriell genutzter Polymere mit deutlich unterschiedlichen Schmelz- und Kristallisationstemperaturen. Die Möglichkeit, die Aktivierung ohne zusätzliche externe Auslöser oder Antagonisten zu stoppen, stellt eine neue Stufe der Komplexität in der Bewegung von weichen Aktuatoren dar.

*Noncontinuously Responding Polymeric Actuators, ACS Appl. Mater. & Interf., 2017, 9, 33559-33564.*



## Aktuatoren: Formgedächtnis-Polymere, die hin- und herschalten

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Instituts für Biomaterialforschung in Teltow bringen spezielle Kunststoffe, sogenannte Formgedächtnispolymere dazu, sich zu bewegen. Damit ein lebloser Plastikstrang oder Faden sich zum Beispiel dreht oder knickt, nutzen die Forscher unterschiedliche Signale wie Temperatur oder Magnetfeld, die als Auslöser der Bewegung dienen.

Dahinter steckt die Programmierfähigkeit der Materialien, die sich auf molekularer Ebene aus „Netzpunkten“ und „Schaltomänen“ zusammensetzen. Durch Ausnutzen bestimmter Materialeigenschaften wird dem Polymermaterial vorgegeben, wann es seine Form ändert. Dies war bisher ein Ein-Wege-Effekt, wie er von hitzeempfindlichen Schrumpffolien oder -schläuchen bekannt ist.

Aber die Kunststoffe aus Teltow können mehr, als sich nur ein einziges Mal zu bewegen. Denn alleine durch wiederholtes Auslösen des Signals lässt sich diese Bewegung immer wieder hin- und herschalten – und das vollständig reversibel – so funktioniert das Polymer als ein Aktuator.

Es ist dann zum Beispiel als Band in der Lage, sich bei einem Temperaturwechsel nach rechts einzudrehen und sich diese Bewegung zu merken. Durch ein stetiges Ändern der Temperatur in Folge, lässt sich diese dauerhaft abrufen: eindrehen, entrollen, eindrehen, entrollen und immer so weiter.

In einem weiteren Entwicklungsschritt ist es sogar möglich geworden, Bewegungsabläufe über die Temperatur gesteuert schrittweise zu vollziehen, mit zeitweisen Pausen, in denen keine Veränderung erfolgt. Und auch hier liegt der Schlüssel in der Architektur der Polymermaterialien, die aus chemisch unterschiedlichen Strukturelementen synthetisiert und anschließend programmiert werden. Hierbei bestimmen die einen Elemente die Geometrie des Materials und die anderen dienen als Bewegungselemente, jeweils mit unterschiedlichen Temperaturempfindlichkeiten.

Eine weitere Besonderheit: Das Material ist reprogrammierbar, das heißt ein- und demselben Material können unterschiedliche Formen gegeben werden.

Zahlreiche Anwendungen sind für das empfindsame Material denkbar, zum Beispiel als künstlicher Muskel für Roboter. Derzeit wird eine Kooperation mit Wissenschaftlern aus dem Bereich der Soft Robotics aufgebaut (siehe Interview auf Seite 24).



### **Herstellen des Aktuormaterials**

Als Erstes werden die Grundbausteine des Aktuormaterials synthetisiert - die Polymere. In Rührkesseln des Teltower Up-Scaling Labors erfolgt dies durch eine sogenannte Ringöffnungs-Polymerisation. Danach werden die Polymere getrocknet und zu Pulver zerkleinert.



Stehend von links nach rechts:  
Dr. Karl Kratz, Dr. Ulrich Nöchel, Dr. Maria Balk,  
Prof. Dr. Andreas Lendlein, Dr. Tobias Rudolph;  
Vorne: Dr. Marc Behl (li.), Dr. Oliver Gould (re.)



### Zusammen verschmelzen

Um das Aktuormaterial zu erhalten, werden zwei Kunststoffe gemischt und im Extruder zu einem Blend in Form eines Stranges verschmolzen. Dieser Strang wird danach zu einem Granulat zerkleinert, damit daraus jede beliebige Form eines Aktuators erzeugt werden kann.



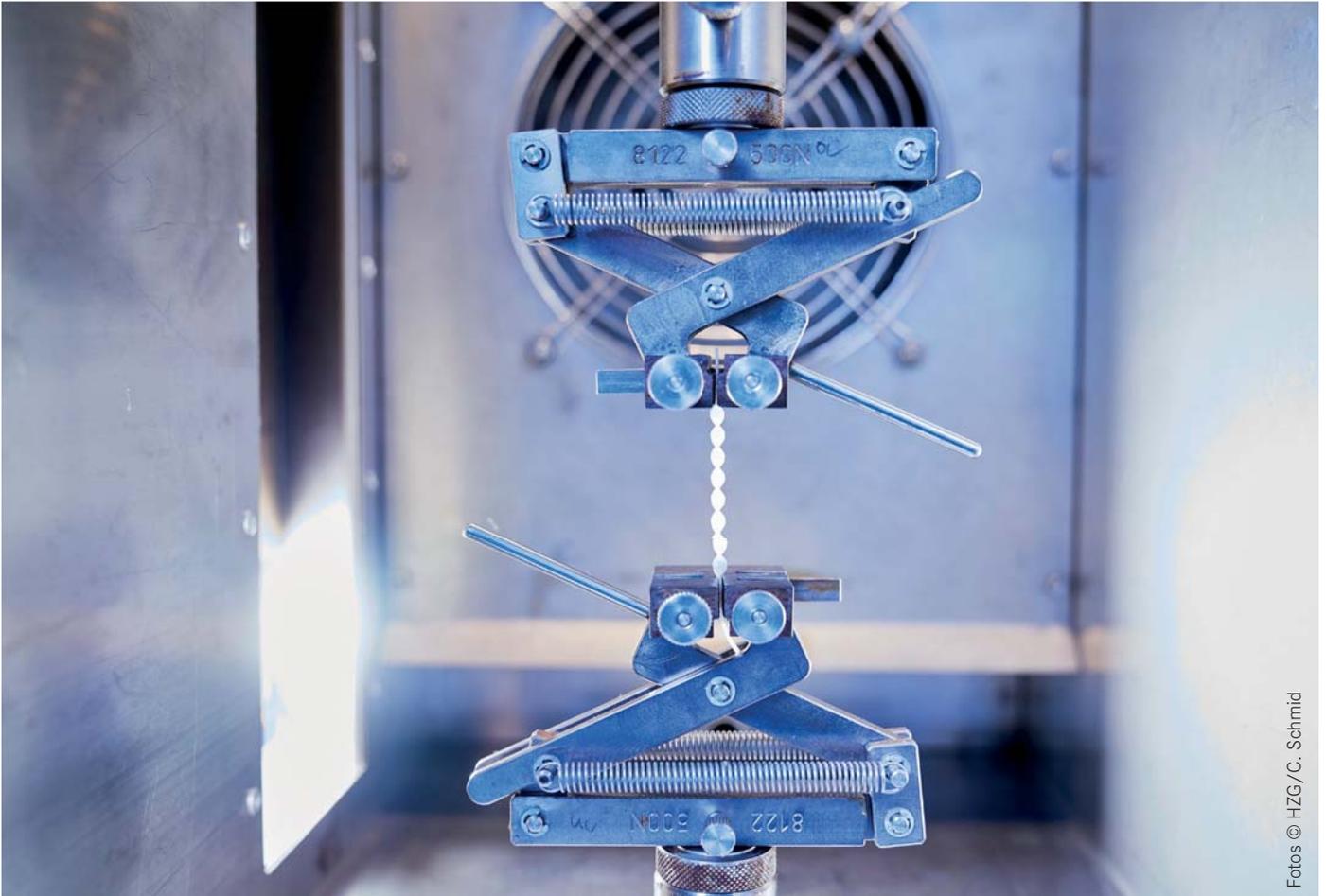
Fotos © HZG/C. Schmid



## Formgebung

Die Presse nutzen die Materialforscher, um aus dem Granulat eine dünne Folie zu erzeugen. Damit ein gleichmäßiges Aktuormaterial entsteht, müssen bei diesem Formgebungsschritt mehrere Parameter wie die Temperatur, aufgebrauchte Menge an Polymermaterial und Dauer des Prozesses genauestens beachtet werden.

Das Ergebnis prüfen die Teltower Wissenschaftler zum Beispiel durch Dickemessung der Folie (siehe Bild links).



Fotos © HZG/C. Schmid

Aus der Polymerfolie werden verschiedene Formen ausgestanzt, in die die Bewegung einprogrammiert werden kann. Hier wurde zum Beispiel ein Streifen in eine Zugmaschine eingespannt, über den Schmelzbereich hinaus erwärmt und per definiertem Spin in eine Richtung verdrillt. Nach Abkühlen ist der Streifen programmiert und kann nun zwischen der geraden und verdrillten Form hin- und herschalten.



Die Aktuatorfunktion wird anhand einer großen Zahl von Schaltzyklen gemessen. Die Teltower Wissenschaftler konnten zeigen, dass viele hundert Male möglich sind. (Konzept Programmierung Aktuator, siehe auch Infografik Seite 22).





### Blick ins Detail

Mithilfe der Klein- und Weitwinkelröntgenstreuung kann das Aktuormaterial auf Nanoebene charakterisiert werden. Hier werden Fragen zur Orientierung und Lage der kristallinen Bereiche im Polymer aufgeklärt. Ein kleines Stück des Materials ist im Probenhalter eingespannt (Bilder rechts).

Weitere Fotostories finden Sie in unserer Mediathek:



[www.hzg.de/mediathek](http://www.hzg.de/mediathek)





# Den Sturm erproben

**Bei der Energiewende sollen Windparks in der Nordsee eine zentrale Rolle übernehmen. Wie das gelingen kann, untersuchen Küstenforscher des HZG.**

Mit Elmar kam der Herbst nach Deutschland: Das Sturmtief ließ im vergangenen Jahr die Temperaturen um bis zu zehn Grad fallen, Regen peitschte übers Land und entlang der Nordsee brausten stürmische Böen. Kein guter Tag für Ausflüge. Aber ein perfekter Tag für Spitzenleistungen: Denn an diesem 22. Oktober sorgte Tief Elmar in der Deutschen Bucht dafür, dass die dortigen Windparks an einem einzigen Tag 4.350 Megawattstunden Energie produzieren konnten – der höchste Wert für 2017. Und so viel Strom, wie an Land nur vier bis fünf sehr große Kohle- oder Atomkraftwerke gemeinsam erzeugen könnten.

Insgesamt lieferten die deutschen Windparks auf offener See im vergangenen Jahr 18 Terrawattstunden Strom – mehr als die Stadt Berlin in einem Jahr verbraucht. Immer deutlicher zeigt die Offshore-Windkraft so, was zu leisten sie imstande ist: Gerade einmal acht Jahre alt ist der erste deutsche Windpark, heute drehen sich bereits mehr als 1.000 Windräder über der Nordsee. Bis zum Jahr 2020 soll die Kapazität der Offshore-Parks nach Plänen der Bundesregierung auf 6,5 Gigawatt ausgebaut werden.

Damit dies reibungslos gelingt, forschen auch Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums Geesthacht bereits seit Jahren zum Thema.

- Wo zum Beispiel lohnt der Aufbau derartiger Anlagen besonders, weil stetig mit kräftigem Wind zu rechnen ist?
- Wie beeinflussen die Turbinen durch ihre riesigen Rotoren lokale Luftströme?
- Und welche Umweltrisiken können von den Bauwerken über und unter Wasser ausgehen?

An Fragen wie diesen arbeiten Experten ganz unterschiedlicher Fachrichtungen gemeinsam und bilden den Forschungsschwerpunkt „Offshore Windparks“ des Instituts für Küstenforschung.

Viele überraschende Ergebnisse liegen bereits vor: So konnten Umweltwissenschaftler zum Beispiel nachweisen, dass die Nordsee rund um die Windkraftanlagen deutlich klarer ist – denn an den Turbinenpfeilern siedeln sich Muscheln an, die das Meerwasser filtern. Ozeanographen entwickelten mithilfe von marinen Radarbildern zudem eine Windprognose, die extrem kurzfristige Vorhersagen (30 bis 60 Sekunden) erlaubt – diese Daten könnten Betreiber von Offshore-Parks künftig nutzen, um ihre Anlagen optimal zu steuern. Und Sozialwissenschaftler untersuchten außerdem, wie an Land die Akzeptanz der oft als optisch störend empfundenen Masten gesteigert werden kann – auch bei so unterschiedlichen Gruppen wie Surfern, Fischern und Mitarbeitern von örtlichen Tourismusbüros.

Einige Projekte des Forschungsschwerpunkts „Offshore Windparks“ laufen vollkommen unabhängig voneinander, viele befruchten einander: Wo Umweltchemiker zum Beispiel Wasserproben entnehmen, bestimmen sie heute mit den Strömungsanalysen ihrer Kollegen.

Für in2science stellen drei Experten des Helmholtz-Zentrums Geesthacht auf den folgenden Seiten ihre speziellen Blickwinkel auf die Kraftwerke auf hoher See vor. Und erzählen von Erfolgserlebnissen und Rückschlägen beim Forschen für die Energiewende.

**Autorin: Jenny Niederstadt**

Mehr Informationen finden Sie online:



[www.hzg.de/windparks](http://www.hzg.de/windparks)



**Dr. Beate Geyer:**  
**Unsere Daten liefern optimale Zeitfenster für den Aufbau der Anlagen**

Viele Monate dauert es, bis der Großrechner unsere Simulationen erstellt hat – schließlich werden Klimadaten aus den vergangenen 70 Jahren berücksichtigt. Erst einmal berechnet, erlauben die Modellsimulationen sehr konkrete

Aussagen, die für den Bau von Windparks entscheidend sind, zum Beispiel: Welche Standorte bieten genug, aber nicht zu oft zu viel Wind? Mit wie hohen Wellen ist dort schlimmstenfalls zu rechnen? Und wann gibt es zuverlässig ruhigere Phasen, etwa für Versorgungsfahrten?

Die Antworten auf derartige Fragen liefert unser Datensatz coastDat, der für die Nordsee eine auf zwölf Kilometer genaue Analyse von Wind, Temperatur und Seegang erlaubt. So können wir die Klimabedingungen von Standorten einschätzen, für die keine originären Messdaten vorliegen.

Für die Betreiber von Offshore-Anlagen sind diese Informationen extrem wichtig: Unsere Daten entscheiden nicht gerade über die Standorte der Windparks, aber insbesondere darüber, wie lange es voraussichtlich dauert, diese aufzubauen. Denn dazu brauchen die Konstrukteure ruhige

See. Schließlich sind die Anlagen riesig, manche Rotoren haben einen Durchmesser von 170 Metern. Bei stärkerem Seegang wäre ein Verladen im Hafen oder der Aufbau auf dem offenen Meer viel zu gefährlich. coastDat nennt deshalb optimale Zeitkorridore innerhalb eines Jahres, die in der Vergangenheit möglichst geringe Wellenhöhen zeigten. Es geht dabei aber nicht nur um die Sicherheit der Mannschaft: Die Transportschiffe sind in der Regel nur gechartert, lange Wartezeiten im Hafen kosten viel Geld. Deshalb verwenden in der deutschen Nordsee nahezu alle Betreiber von Windparks unsere Daten beim Bau und der Planung ihrer Anlagen.

Generell kommt heute fast jeder zweite Nutzer von coastDat aus der Industrie, dabei wurde der Datensatz ursprünglich für die Klimaforschung entwickelt. Solche regionalen Simulationsergebnisse sind viel genauer als die sonst üblichen globalen Klimadaten – was nicht nur für Wissenschaftler, Behörden und Betreiber von Offshore-Anlagen wichtig ist: Unsere Daten helfen zum Beispiel auch bei der Konstruktion von Schiffen. Die Werften können mit ihnen viel besser einschätzen, welchen Belastungen ein Schiffsrumpf ausgesetzt sein wird.

Und auch bei den Windparks geht die Entwicklung weiter: Mit unseren Daten kann bestimmt werden, wann die Windräder auf hoher See und an Land welche Mengen an Energie einfangen und welche Energie die Solaranlagen synchron liefern – so lässt sich die Einspeisung ins Stromnetz an Land viel besser planen.



Gezeitenströmung und Wasserstand: Der Datensatz coastDat basiert auf numerischen Modellen. Das Portal liefert seit mehr als 15 Jahren wissenschaftlich basierte Daten. Es wird zum Beispiel bei Planungen von Offshore-Windparks verwendet.

©DKRZ/HZG

© HZG/J. Lippels



**Dr. Jeffrey Carpenter:**  
**Auch das Meer hat seine Jahreszeiten**

Ich habe mich schon immer für Wasser interessiert – was vielleicht auch daran liegt, dass ich in Kanada aufgewachsen bin, in einer Region voller Seen. Schon seit meinem Studium liebe ich außerdem die Mathematik. In meinem Fachgebiet, der Strömungsmechanik, kann ich beide Leidenschaften vereinen. Denn zum

Einen fahre ich für meine Projekte raus aufs Meer, vor allem, um mithilfe von Messrobotern Daten zu sammeln: Mit ihren Sonden registrieren die so genannten Glider Bewegungen des Wassers und messen vollautomatisch dessen Dichte und Temperatur.

Und zum Anderen berechne ich daraus zurück an Land verschiedene Simulationen, die das Strömungsverhalten des Wassers dokumentieren – und auch voraussagen können. Das ist wichtig, wenn wir abschätzen wollen, wie Meerwasser auf die Stützpfeiler von Windkraftanlagen reagieren. Mechanisch gesehen stellen sie Barrieren dar, auf die die See auf voller Länge prallt.

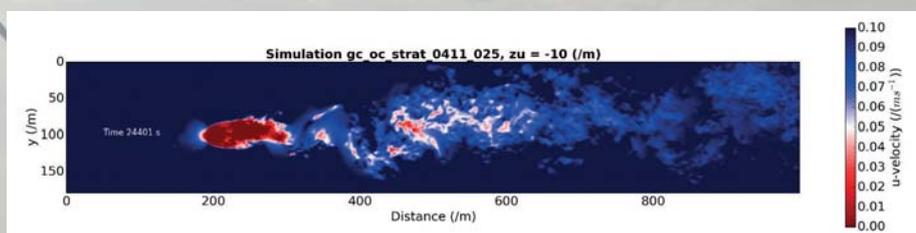
Speziell interessiert mich dabei die Schichtung von Gewässern: Fast alle Seen und Meere bilden im Querschnitt bestimmte Zonen aus, die sich in Temperatur und Dichte voneinander unterscheiden, mitunter sogar sehr stark. Im Sommer etwa erwärmt die Sonne die oberen Schichten der Nordsee, während die Wasserschicht am

Meeresboden kühl bleibt. Im Winter erzeugen Abkühlung und Stürme schwereres Wasser, welches sich mit dem Bodenwasser mischt, das vom Sommer übrig geblieben ist. Auch das Meer hat also seine Jahreszeiten. Und seine saisonale Schichtung ist enorm wichtig für die Tiere, die dort leben, denn sie sorgt dafür, dass sie zum Beispiel gezielt Zonen mit besonders viel Nährstoffen, Licht oder Sauerstoff aufsuchen können.

Allerdings: Zwischen den beiden Schichten findet sich meist eine trennende Zone, Thermokline genannt. Sie ist relativ ruhig und stabil, dagegen kommt es an der Meeresoberfläche durch Winde und am Grund durch Reibung relativ häufig zu Turbulenzen. Die Thermokline wirkt wie ein Puffer zwischen den unruhigen Zonen. Dieses fein ausbalancierte System könnte nun in der Nähe von Windkraft-Anlagen gestört werden. Denn deren Masten sorgen dafür, dass auch die normalerweise ruhige Zwischenzone aufwirbelt.

Seit vier Jahren untersuche ich, welche Auswirkungen diese Turbulenzen haben. Denkbar wären positive Effekte, etwa weil Nährstoffe aus den tieferen Ebenen empor-treiben und Fische in den höheren Lagen mehr zu fressen finden. Aber auch die negativen Folgen müssen wir im Auge behalten, denn durch unsere Untersuchungen wissen wir, dass die Schichten sensibel reagieren: Ein einziger starker Sturm reicht aus, um die Nordsee bis zum Grund hinab zu durchmengen.

Diese enorme Wucht entfalten Windparks nicht. Allerdings sollen sie stark ausgebaut werden. Zigtausende Pfähle würden dann die Wassersäule durchmessen – und könnten weitaus größere Konsequenzen mit sich bringen.



Das Bild zeigt einen einzelnen Moment einer Large Eddy Simulation (LES). Man schaut von oben auf die Wasseroberfläche, die momentane Bewegung geht von links nach rechts. Blau zeigt eine starke Strömung an und rot eine schwache.

© HZG/J. Carpenter



**Dr. Daniel Pröfrock:**  
**Auch gute Ideen**  
**können Schaden**  
**anrichten**

Ich arbeite gerne draußen auf See. Diese Momente abseits von Schreibtisch und Labor genieße ich, auch wenn unsere Fahrten und Kampagnen oft anstrengend sind. Zuletzt ging es Mitte April raus auf die Nordsee – für Wasser- und

Sedimentproben aus der Nähe von Offshore-Windparks. Denn gemeinsam mit meinem Team und unserem Kooperationspartner, dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie BSH, untersuchen wir, inwiefern der Korrosionsschutz dieser Windparks Chemikalien freisetzt und ob diese sich nachteilig auf die Meeresumwelt auswirken – ein Thema, zu dem es aktuell kaum Informationen gibt.

Über und unter Wasser werden die Windkraftanlagen meist mit zwei Systemen vor dem Meerwasser geschützt: Einerseits werden die Oberflächen beschichtet – mit einem wilden Cocktail aus Chemikalien, darunter vielen Stoffen, die potenziell umweltschädlich sind. Zum Anderen sind die Fundamente mit sogenannten Opferanoden bestückt. Mehrere Tonnen Anodenmaterial, das meist aus einer Aluminiumlegierung besteht, schützen das eigentliche Bauwerk vor Korrosion. Damit wird die Anlage standfester und haltbarer gemacht. Die Anode opfert sich quasi auf, setzt dabei aber problematische Legierungsbestandteile frei, zum Beispiel hochgiftiges Cadmium und Blei.

Auch Schiffe nutzen solche Anoden. Es ist aber noch vollkommen unklar, welche Folgen sich für die umgebende Meeresumwelt ergeben, wenn solche Schutzsysteme in immer größerem Maße an den in der Nordsee betriebenen

Windparks eingesetzt werden. Deshalb untersuchen wir das Meerwasser und den Boden rund um die Fundamente: Wir wollen wissen, ob und mit welchen Belastungen und Risiken langfristig rund um die Pfeiler zu rechnen ist.

Noch in diesem Jahr wollen wir dazu mit unserem HZG-Forschungsschiff Ludwig Prandtl noch einmal hinausfahren, um sogenannte Passivsammler in einem Windpark auszubringen: Ein bis zwei Monate lang verbleiben diese dann an verschiedenen Stellen innerhalb des Parks und liefern uns Daten über die chemische Zusammensetzung des Wassers. Am Seil, das die Passivsammler fest zwischen einer Boje und dem Meeresboden verankert, wollen wir außerdem Muscheln ausbringen, um zu prüfen, ob sich in ihrem Gewebe bestimmte Schadstoffe anreichern.

Unsere Ergebnisse werden unseren Projektpartnern dabei helfen, geeignete Richtlinien für die Betreiber von Windparks beziehungsweise den zukünftigen Genehmigungsprozess von neuen Offshore-Parks zu erarbeiten:

- Welche Beschichtungssysteme sollen sie einsetzen dürfen?
- Wo und wie oft soll die Wasserqualität geprüft werden?
- Und wie gefährlich sind die gängigen Opferanoden?

Schließlich gäbe es Alternativen: Man könnte die Fundamente der Windräder auch durch sogenannte Fremdstrom-Systeme schützen. Dabei werden die Anlagen leicht unter Strom gesetzt, was Korrosionsprozesse unterbricht. Derartige Systeme werden zum Beispiel bei Pipelines oder im Brückenbau eingesetzt, auch erste Windparks arbeiten damit. Die Methode hat sich also bewährt – ist aber teuer.

Wenn wir zukünftig sicherstellen wollen, dass Offshore-Anlagen wirklich sauberen Strom liefern, müssen wir darauf achten, dass die Windparks keine neuen Umweltprobleme schaffen. Auch gute Ideen können schließlich Schaden anrichten.



Bilder oben: Mit einem Kastengreifer wird Sediment vom Meeresboden hochgeholt.

Bild rechts: Der Wasserschöpfer wird von Bord gelassen. Er sammelt automatisch Meerwasser aus verschiedenen Meerestiefen.

Wieder zurück an Land werden die Proben in den Geesthachter Laboren untersucht.







[www.hzg.de/magic](http://www.hzg.de/magic)

# The Godfather

KARL ULRICH KAINER



## Prof. Karl Ulrich Kainer

Institutsleiter am Magnesium Innovation Centre MagIC am HZG.  
Er ist der derzeit einflussreichste Magnesiumforscher der Welt.  
Am 1. Februar 2019 beginnt sein Ruhestand.

### Der Magnesium-Papst Was bewegt Magnesiumforscher Prof. Karl Ulrich Kainer?

Karl Ulrich Kainer hat wenig Zeit. Er kommt gerade aus China. Dort wurde die größte Magnesium-Fabrik des Planeten eröffnet; Karl Ulrich Kainer stand auf der Gästeliste, um ein paar Grußworte zu entrichten. Jetzt sitzt er in Halle 5 am Stand E46 der Hannover Messe und wartet: Für 14 Uhr hat der Ministerpräsident von Schleswig-Holstein seinen Besuch angekündigt.

Am HZG führt Karl Ulrich Kainer das Magnesium Innovation Centre MagIC als Institutsleiter. Draußen in der Welt jedoch hat man ihm einen anderen Titel verpasst. Im deutschsprachigen Raum nennt man ihn den „Magnesium-Papst“, in China und den USA den „Godfather of Magnesium“. Eine Forschungskonferenz im Jahr 2018 veranstaltete zu seinen Ehren ein komplettes Symposium. Wie schafft man so etwas?

Wenn Karl Ulrich Kainer redet, hört man die Sprachmelodie Nordrhein-Westfalens. „Meine Mutter wollte ja, dass ich Finanzbeamter werde“, erzählt er. Nach der Mittleren Reife besucht er deshalb die Höhere Handelsschule. „Ich habe aber bald gemerkt, dass ich nicht so der Typ dafür bin.“ Stattdessen absolviert er ein einjähriges Praktikum als Elektrotechniker und studiert nach dem Fachabitur an der FH Osnabrück. „Dass ich ein Handwerk gelernt habe, hat mir immer geholfen. Ich habe in den Semesterferien als Industrie-Elektriker gearbeitet. Kabel legen, Schaltungen erstellen, Maschinen reparieren – das hat mir immer Spaß gemacht.“ Zur Freude am Handwerk gesellt sich wissenschaftliche Neugier. Statt sich nach dem Diplom einen Job in der Industrie zu suchen, geht Karl Ulrich Kainer an die TU Clausthal und studiert Werkstoffkunde. Er beschäftigt sich mit Stahl, Kupfer, Aluminium – Metall wird sein Gemüse, sozusagen.

Das Element Magnesium gerät eher zufällig in seinen Blick. „Die Automobilindustrie hat sich damals sehr für das Thema interessiert“, sagt Karl Ulrich Kainer. Natürlich: Magnesium ist extrem leicht und zugleich stabil, es kann kostengünstig recycelt werden – und steht als Rohstoff fast unbegrenzt zur Verfügung. Spätestens in den 1990er Jahren wird Magnesium deshalb zum großen Versprechen für die Automobil-Industrie: weniger Gewicht, weniger Treibstoffverbrauch, weniger CO<sub>2</sub>-Ausstoß. In einem seiner ersten Projekte entwickelte Karl Ulrich Kainer mit BMW ein faserverstärktes Magnesium-Bauteil für einen Formel-1-Motor. „Ich habe erst Jahre später erfahren, dass meine Entwicklung zumindest ein Rennen lang tatsächlich gefahren ist.“ Die komplette Spezialisierung auf Magnesium folgt dann mit seiner Habilitation im Jahr 1996 und seinem Ruf nach Geesthacht im

Jahr 1999. Karl Ulrich Kainer ist zu diesem Zeitpunkt 46. Am 1. Januar 2000 wird er in Geesthacht Institutsleiter. „Damals war ich mein einziger Mitarbeiter.“ Doktoranden, feste Mitarbeiter, Abteilungsleiter und ein eigenes Institutsgebäude folgen erst nach und nach.

Bei der Entwicklung von Magnesium-Blechen sieht Karl Ulrich Kainer das MagIC heute als „die Nummer eins weltweit“. Umso tragischer, dass im Sommer 2017 ein Feuer ausgerechnet die dazu benötigte Gießwalzanlage zerstört. „Wenn sie wieder aufgebaut ist, wird die Anlage Industrie 4.0-fähig, also mit Sensoren ausgestattet und digital steuerbar sein. So hat die Sache vielleicht auch ihre gute Seite.“ Besonders spannend sei außerdem das Thema Oberflächenbeschichtung, das derzeit am MagIC erforscht wird. Magnesium ist „hochreaktiv“. Wie kann man es beschichten, damit es nicht korrodiert? Diese Frage hält Karl Ulrich Kainer für „absolut zukunftsweisend“. Denn wer herausfindet, wie man Magnesium vor Korrosion schützt, dem wird es erst recht bei anderen Materialien gelingen.

Wie er selbst zum Elder Statesman der Magnesium-Forschung werden konnte?



**Glück ist dabei eine wesentliche Größe.  
Man trifft Entscheidungen, ohne zu wissen,  
ob sie fruchtbar sein werden. Man macht es  
eben, weil man das Thema toll findet.**

Außer der Begeisterung für die Sache und einer gewissen Beharrlichkeit war wohl ein dritter Faktor entscheidend: Karl Ulrich Kainer ist ein geborener Netzwerker. Bereits 1998 organisiert er eine erste Magnesium-Tagung. Heute trifft sich die Wissenschafts-Community alle drei Jahre. „Das sind rund 600 Leute aus der ganzen Welt.“ Den Kollegen zuhören, offen mit ihnen reden – und das auch über Fragen, für die man derzeit noch keine Lösung hat: Karl Ulrich Kainers Grundsätze klingen, als kämen sie aus einem Start-up-Handbuch fürs Silicon Valley. Offenbar waren sie vor 20 Jahren schon so erfolgreich wie heute.

Am 1. Februar 2019 beginnt für den Magnesium-Papst der Ruhestand. „Da gibt es zwei Möglichkeiten“, sagt er. „Entweder die Option Auslaufmodell – oder den Cold Turkey.“ Ein Kollege habe einst auf einer Verabschiedung eines Kollegen am HZG das Bild jener Dampflok gezeigt, die 1895 am Gare Montparnasse den Prellbock, den Bahnsteig und die Bahnmauer überrollt hatte und dann auf der Straße gelandet war wie ein gestrandeter Wal. Die Warnung, sagt Karl Ulrich Kainer, sei bei ihm angekommen. „So möchte ich mich am ersten Tag im Ruhestand auf keinen Fall fühlen.“ Er wird dem HZG als Berater erhalten bleiben. Gut möglich, dass ihm das hilft, die rasante Fahrt seiner Karriere ein wenig sanfter zu beenden.

**Autor: Jochen Metzger**

# Weiche Aktuatoren

Polymeren eine Form einzuspeichern und diese einmal abzurufen, ist nichts Neues.

Die Wissenschaftler am HZG in Teltow haben nun eine Möglichkeit gefunden, die Bewegung viele hunderte Male zu wiederholen. Sogar ganze Bewegungsabläufe sind möglich.

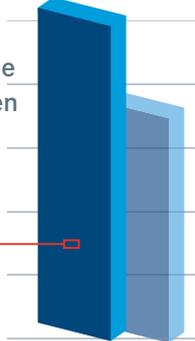
Was dabei genau in dem Material geschieht und warum, erklären wir auf dieser Doppelseite.

## > Beweglichkeit

Ist das Material entsprechend programmiert, kann jede Bewegung durchgeführt werden. Strecken, Krümmen und Drehen, alles kann kombiniert werden. Dadurch sind komplexe Bewegungsabläufe möglich.

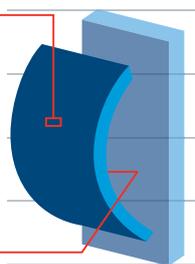
### STRECKUNG

Bei der Streckung sind die Polymerstränge im ganzen Material gestreckt und gerade ausgerichtet.



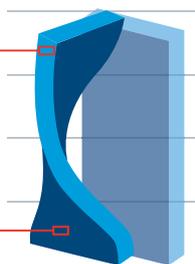
### KRÜMMUNG

An der Außenseite sind die Stränge gestreckt, auf der Innenseite loser und weniger orientiert.



### DREHUNG

An der Kante sind die Stränge gestreckt, auf der Fläche loser und weniger orientiert.



## > Formgedächtnis

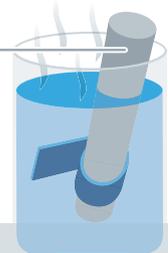
Wie ein Kunststoff programmiert und in Bewegung gebracht wird, zeigen wir hier anhand einer Drehbewegung. Das Prinzip ist jedoch für jede Bewegung gleich.

Kristallite

 Aktuator Unit

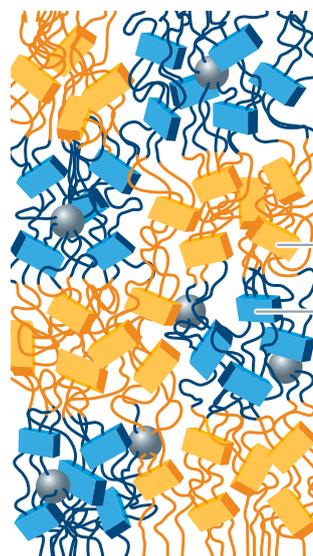
 Geometrie bestimmende Unit

Formgebender  
Stab



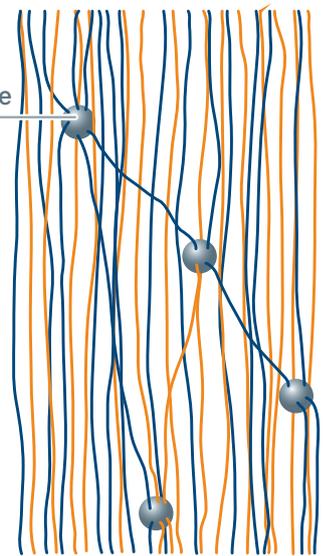
90 °C

### Programmierung des Materials



Netzpunkte

Kristallite



## > Ausgangsmaterial

Die Polymerketten sind im Material ungeordnet vorhanden. Nur die Netzpunkte geben eine Struktur vor.

## > Programmierung

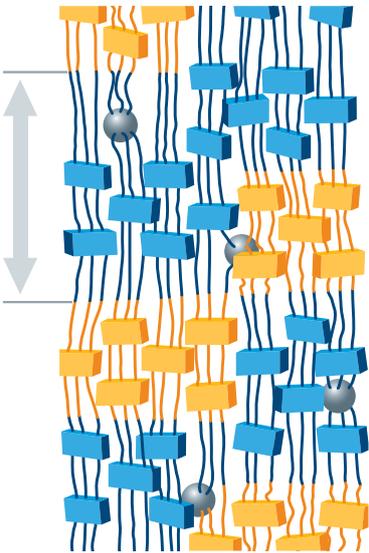
Beim Eintauchen in das 90 °C heiße Wasser schmelzen die Kristallite auf, die Polymerketten werden durch Deformation neu ausgerichtet.



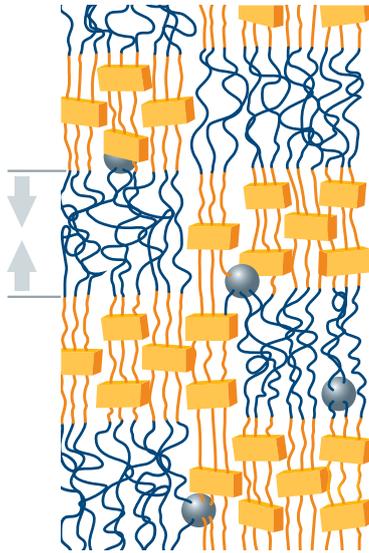
**Aktivität**  
 Zwischen den programmierten Bewegungen kann immer wieder hin- und hergeschaltet werden.

> **Drehender Arm**  
 Mittlerweile sind auch Aktuatoren möglich, die sich schrittweise bewegen. Das heißt, die Bewegung kann zeitweise pausieren, während die Temperaturänderung kontinuierlich erfolgt.

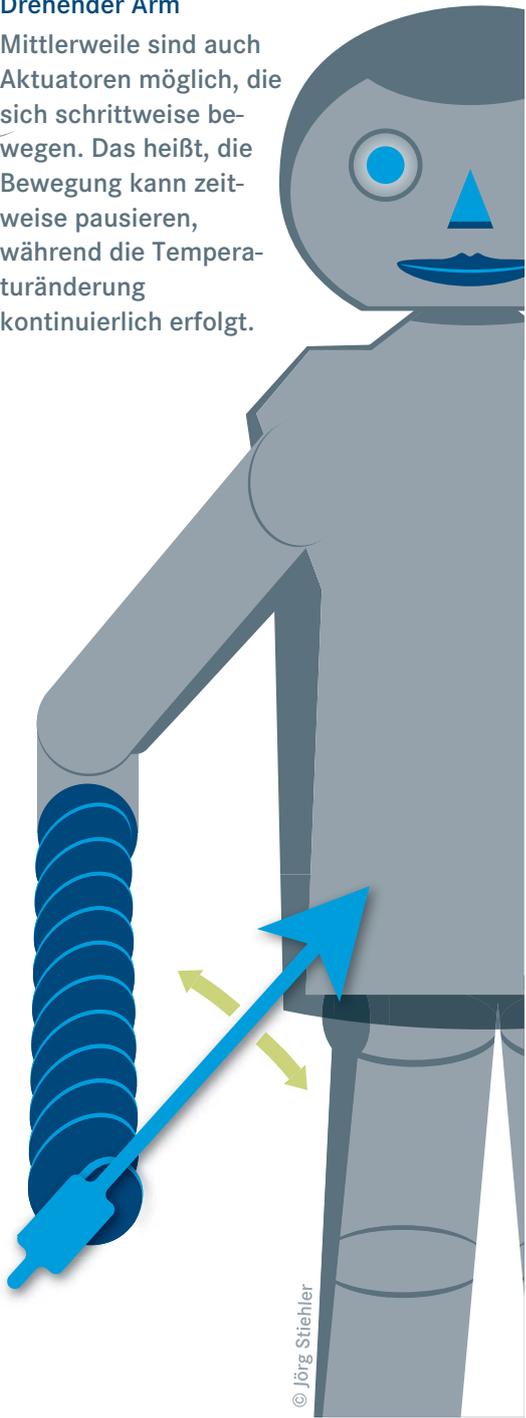
Abruf der programmierten Bewegung



> **Form A**  
 Durch Abkühlen bilden sich Kristallite. Dadurch wird die vorgegebene Form definiert.



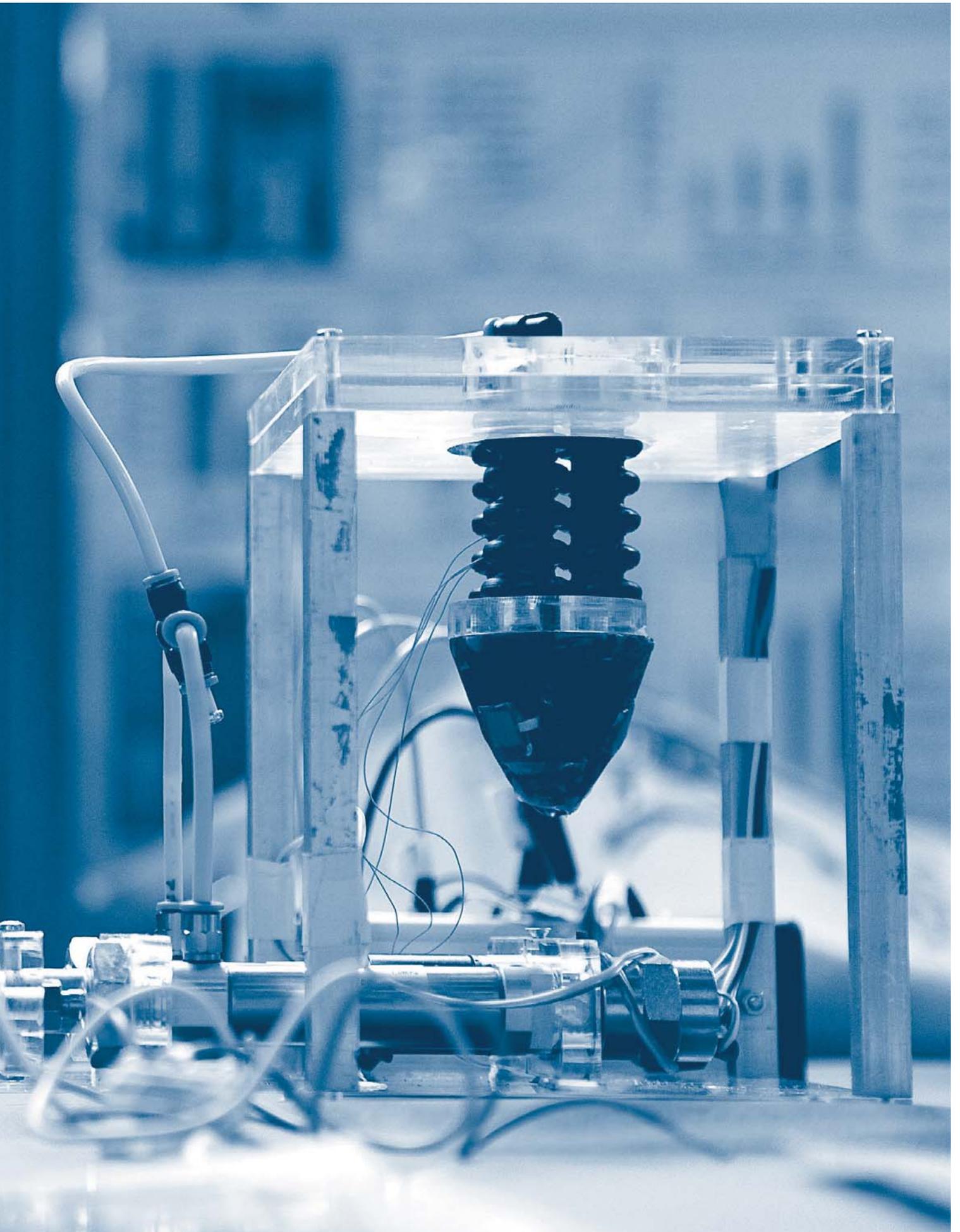
> **Form B**  
 Das Wasser mit der mittleren Temperatur schmilzt einen Teil der kristallinen Blöcke auf. Damit verändert sich die Form. Zwischen Form A und Form B kann nun hin- und hergeschaltet werden.



# Robotik neu gedacht

**Interview mit Barbara Mazzolai,  
Leiterin des Zentrums für Mikro-Biorobotik in Pisa**

Weiche Roboter haben keine Arme und Gelenke aus Metall, sondern bestehen aus dehnbaren, flexiblen Kunststoffen. Dadurch sollen sie sich besser der Umwelt anpassen und gefahrlos mit Menschen zusammenarbeiten können. Mit den neuen weichen Materialien, sogenannten Aktuatormaterialien, des HZG-Instituts für Biomaterialforschung in Teltow scheinen neue Dimensionen der Soft Robotics realisierbar zu werden. Dazu hat das Institut eine Forschungs Kooperation mit der italienischen Wissenschaftlerin Barbara Mazzolai gestartet. Sie zählt zu den führenden Expertinnen auf diesem Gebiet.





Die Wissenschaftler am IIT haben einen Plantoiden entwickelt, also einen Roboter, der wie eine Pflanze wirkt und wächst. Er dient der Untersuchung biologischer und technologischer Fragen.



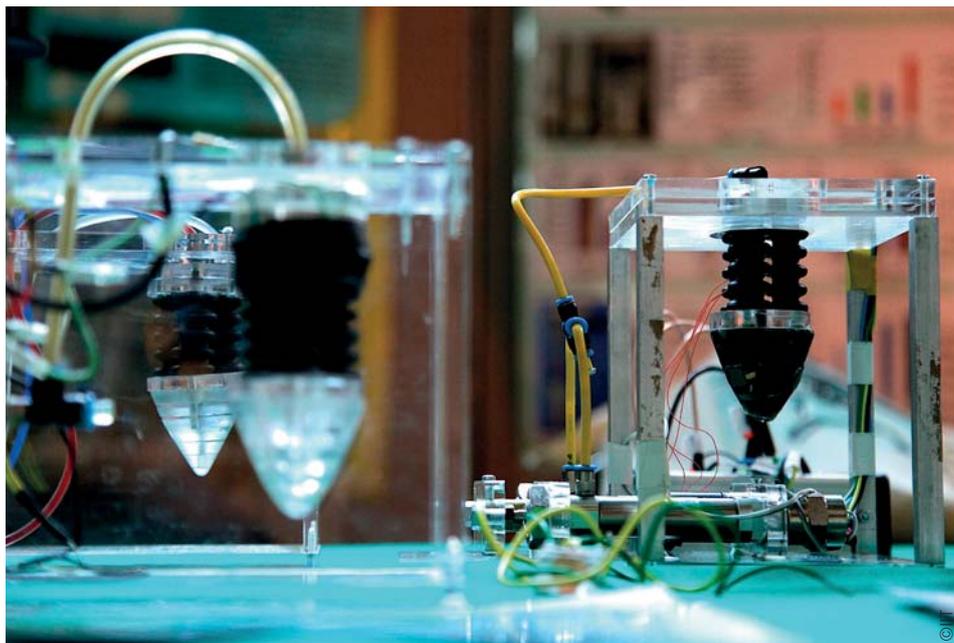
**Um Roboter zu bauen, die in komplexen Umgebungen zurechtkommen und sich an neue Umweltbedingungen anpassen können, orientieren wir uns an Vorbildern aus der Natur. Das bedeutet: Wir wollen Biologie und innovative Technologien miteinander verknüpfen.**

### **Frau Mazzolai, Sie und ihr Team beschäftigen sich mit einem Feld namens Soft Robotics. Was kann man sich darunter vorstellen, was ist der Unterschied zu normalen Robotern?**

Konventionelle Roboter besitzen feste Körper und Gliedmaßen und bestehen überwiegend aus harten Werkstoffen, zum Beispiel aus Metallen. In der Regel sind sie dafür gemacht, in einer strukturierten, fest vorgegebenen Umgebung zu agieren, etwa in einer Werkhalle in der Industrie. Allerdings ist die Zusammenarbeit mit dem Menschen aus Sicherheitsgründen limitiert. Denn die harten, sich schnell bewegenden Roboterarme können durchaus zu Verletzungen führen. Dagegen bestehen weiche Roboter aus nachgiebigen, biegsamen Kunststoffen wie beispielsweise Silikon – aus Werkstoffen also, die natürlichen organischen Materialien nachempfunden sind. Solche Roboter könnten flexibler auf ihre Umwelt reagieren und mit ihren weichen Gliedmaßen gefahrlos mit dem Menschen zusammenarbeiten. Sie richten keinerlei Schäden an und könnten sogar für medizinische Zwecke im Inneren des menschlichen Körpers agieren. Als weitere Anwendungen sind Such- und Rettungsroboter denkbar sowie kleine bewegliche Maschinen für das Umweltmonitoring.

### **Worin bestehen die Herausforderungen bei der Entwicklung der weichen Roboter, welche Schwierigkeiten sind zu meistern?**

Das Forschungsfeld steht noch ziemlich am Anfang, wir haben noch grundlegende Probleme zu lösen. Eine wesentliche Herausforderung ist die Steuerung. Wir müssen ganz neue Mechanismen entwickeln, damit sich die Roboter gezielt bewegen können. Wie können wir verschiedene Materialien zu einem System kombinieren und gezielt und zuverlässig kontrollieren? Und wie lässt sich dieses System mit den passenden Sensoren verbinden? Dafür brauchen wir neue Materialien, die verschiedene Funktionen erfüllen und zugleich als Sensoren und Aktuatoren fungieren können. Um Roboter zu bauen, die in komplexen Umgebungen zurechtkommen und sich an neue Umweltbedingungen anpassen können, orientieren wir uns an Vorbildern aus der Natur. Das bedeutet: Wir wollen Biologie und innovative Technologien miteinander verknüpfen. Erste Erfolge können wir schon vorweisen: 2012 haben wir einen Roboter präsentiert, dessen flexible Arme nach dem Vorbild des Tintenfisches konstruiert sind. Zwar stecken wir noch mitten in der wegweisenden Phase. Dennoch ist die Industrie bereits auf das Thema aufmerksam geworden und beginnt damit, Forschungsgelder zu vergeben.



Hier sind die „Wurzeln“ des Plantoids zu sehen. Jedes Wurzelende ist mit chemischen Sensoren ausgestattet, beweglich und reagiert empfindlich gegenüber Berührungen.

**Vor Kurzem sind Sie eine Kooperation mit dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht eingegangen, mit der Gruppe von Andreas Lendlein vom Institut für Biomaterialforschung in Teltow bei Berlin. Was ist das Ziel dieser Zusammenarbeit?**

Beide Partner verfügen über verschiedene, sich ergänzende Kompetenzen. Wir in Pisa besitzen das Knowhow, wie man einen Prototyp eines weichen Roboters baut. Dagegen hat das Institut für Biomaterialforschung die Expertise, die dafür nötigen adaptiven Materialien zu entwickeln. Um auf dem Feld möglichst effektiv weiterzukommen, müssen wir Ingenieure möglichst eng mit der Materialforschung zusammenarbeiten – wir brauchen den Kontakt zu Experten aus anderen Fachrichtungen mit anderen Visionen. Wir Ingenieure können solche Roboter nicht ganz alleine konstruieren. Wir brauchen das Wissen von anderen Disziplinen, etwa von Biologen, Materialforschern und Chemikern. Diese interdisziplinäre Zusammenarbeit ist etwas Neues für uns Robotikexperten. Ich finde das sehr spannend, denn es gibt in unserem Feld nur sehr wenige Beispiele für solche Kooperationen.

**Warum haben Sie sich zu einer Zusammenarbeit mit dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht entschlossen? Was konkret versprechen Sie sich von dieser neuen Kooperation?**

Die Herausforderung besteht ja darin, den neuen Robotern gezielte und gerichtete Bewegungen beizubringen. Bislang versuchte man es beispielsweise mit Silikonbauteilen, in die Drähte als künstliche Sehnen eingelassen sind oder mit feinen, per Luftdruck bewegten Röhren. Die Formgedächtnis-Polymeraktuatoren aus Teltow versprechen hier einen deutlichen Fortschritt. Bei ihnen kann das Material selbst als ein Aktuator fungieren, der sich zielgenau bewegt – und zwar als Reaktion auf äußere Bedingungen, zum Beispiel auf Temperaturänderungen. Das Verhalten des Polymers wird beim Design programmiert, sodass die Materialien wissen, wie sie sich bei steigenden Temperaturen oder steigender Luftfeuchtigkeit bewegen müssen. Ganz ähnlich funktioniert das übrigens auch bei Pflanzen, die auf bestimmte Umweltreize mit Bewegung reagieren, ein Beispiel ist die Venusfliegenfalle. Gelingt es uns, gemeinsam mit Teltow neue Komponenten



**ZUR PERSON**

**Dr. Barbara Mazzolai** leitet seit 2011 das Zentrum für Mikro-Biorobotik (CMBR) am Italienischen Institut für Technologie (IIT) in Pisa. Nach ihrem Studium der Biologie beschäftigte sie sich mit dem Einfluss von Giftstoffen auf die Umwelt und den Menschen. In ihrer Promotion wandte sie sich der Mikrosystemtechnik zu und konstruierte winzige Sensoren, mit denen sich Luft- und Wasserschadstoffe effizient detektieren lassen. Um mobile Trägerplattformen für diese Sensoren zu entwickeln, beschäftigte sie sich immer intensiver mit ihrem heutigen Fachgebiet, der Robotik.

Mittlerweile gilt Barbara Mazzolai als führende Expertin auf dem Feld der Soft Robotics. Diese „weichen Roboter“ sind zum Beispiel Tintenfische, Raupen oder Pflanzen nachempfunden und bestehen aus dehnbaren, flexiblen Materialien.



<https://mbr.iit.it/>



© HZG/C. Schmid

Zukünftig werden gemeinsam mit dem IIT und dem Institut für Biomaterialforschung neue Komponenten für Soft Robotics erforscht.

ten basierend auf ihren Polymeraktuatoren zu erzeugen und in unsere Prototypen zu integrieren, könnten wir die Komplexität der Systeme deutlich reduzieren.

#### **Um welche Projekte wird es bei der Zusammenarbeit als erstes gehen, welche Meilensteine streben Sie an?**

Gemeinsam mit dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht wollen wir neue, adaptive Materialien für die Robotik einführen und daraus erste Prototypen bauen. Wir denken dabei an einen Roboter mit Eigenschaften von Pflanzen, oder auch an einen Prototyp, der ähnlich wie ein Frosch hüpfen und schwimmen kann. Als ferne Vision sind Roboter vorstellbar, die ihre Aktuatoren selbst umprogrammieren können – eine Art Transformer, die selbstständig ihre Form verändern. Möglich scheinen auch Prototypen mit Selbst-

heilungseigenschaften sowie Roboter, die Energie sammeln und speichern können und damit weitgehend autark wären. Um die Grundlagen für solche Systeme zu schaffen, haben wir gemeinsam mit dem Teltower Institut unter anderem ein Helmholtz International Lab beantragt, in dem wir gemeinsam solche neuartigen Komponenten für Soft Robotics erschaffen wollen. Wir sind also startbereit.

#### **Worin könnten die wichtigsten Anwendungen liegen?**

Denkbar sind Roboter, die sich geschickt und flexibel durch unbekanntes Terrain bewegen und unwegsame Gebiete erkunden. Dort könnten sie mit ihren Sensoren nach Gift- und Schadstoffen suchen und dadurch eine wichtige Rolle im Umweltmonitoring übernehmen. Oder sie könnten in Katastrophengebieten, etwa bei Erd-

beben oder Überschwemmungen, nach Überlebenden fahnden. Auch in der Medizin gibt es vielversprechende Perspektiven: Wir denken da an neuartige Endoskope für Darmspiegelungen. Die heutigen Koloskope können Schmerzen verursachen, wenn sie während der Untersuchung mit ihren relativ harten Spitzen gegen die Darmwand stoßen. Mithilfe der Soft Robotics wären weiche, biegsame Spitzen möglich. Damit könnte die Untersuchung deutlich schonender und behutsamer sein.

#### **Vielen Dank für das Gespräch.**

**Das Interview führte der  
Wissenschaftsjournalist und Physiker  
Frank Grotelüsch.**

## Neue Publikation in Science Robotics

Prof. Andreas Lendlein berichtet im Wissenschaftsjournal Science Robotics über das Anwendungspotenzial polymerer Formgedächtnis-Aktuatoren, die er in seinem Institut für Biomaterialforschung in Teltow für den Bereich der Soft Robotics erforscht. Klassische Formgedächtnis-Polymere besitzen die Eigenschaft, ihre Gestalt gezielt unter dem Einfluss von äußeren Reizen zu ändern. Das kann Wärme sein, aber auch Magnetfeld oder Licht. Begrenzt wird diese erste Generation der Formgedächtnis-Polymere hauptsächlich dadurch, dass sie nur einmal von ihrer ursprünglichen Form zu einer zweiten umschalten.

Vor einigen Jahren gelang der Durchbruch: Das wiederholte Hin- und Herschalten zwischen zwei Formen eines Formgedächtnis-Polymers wurde möglich - und das viele hunderte Male hintereinander. Diese Materialien werden Formgedächtnis-Aktuatoren genannt. Grundlage dafür sind zwei Sets von nanostrukturierten Einheiten in dem Material. Eine Einheit fungiert als ein inneres Gerüst, die der Bewegung eine Richtung gibt bzw. Bewegungsgeometrie vorgibt und die andere Einheit ist für den Antrieb verantwortlich: Das Material wird gezwungen, sich in zwei Richtungen, also bidirektional zu bewegen.

Die gewünschte Form des Polymer-Aktuators lässt sich programmieren und auch umprogrammieren. So können sich polymere Formgedächtnis-Aktuatoren gezielt ausstrecken und wieder zusammenziehen. Oder, nach Umprogrammierung, sich von selbst verbiegen und wieder gerade werden. Oder sie verdrillen sich wie ein Gummiband, um sich später in ihren Ausgangszustand zurückzugeben. Hier sind der Variabilität keine Grenzen gesetzt.

Mit seiner Forschung konzentriert sich das Institut bislang auf medizinische Anwendungen, zum Beispiel Implantate oder Gesundheitstechnologien für altersgerechte Medizin. Zukünftig wird die neue Technologie der Polymer-Aktuatoren auch im Bereich der Soft Robotics in die Anwendung gebracht.

„Fabrication of reprogrammable shape-memory polymer actuators for robotics“, A. Lendlein, *Sci. Robot.* 2018, 3, eaat9090, DOI: 10.1126/scirobotics.aat9090

Mehr dazu im Podcast hören:



[www.hzg.de/aktuatoren](http://www.hzg.de/aktuatoren)

### ZUR PERSON

**Prof. Andreas Lendlein** leitet das Institut für Biomaterialforschung des Helmholtz-Zentrums Geesthacht in Teltow seit 2002 und ist Professor für Materialien in den Lebenswissenschaften an der Universität Potsdam. Mittelpunkt seiner wissenschaftlichen Interessen in Makromolekularer Chemie und Materialwissenschaften ist die Generierung von Materialfunktionen durch gezieltes Design sowie die Implementierung von Multifunktionalität in polymer-basierten Materialien. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf stimuli-sensitiven Polymeren, speziell Formgedächtnis-Aktuatoren, biopolymer-basierten Materialsystemen und strukturierten Biomaterialien. In seinen wissen-

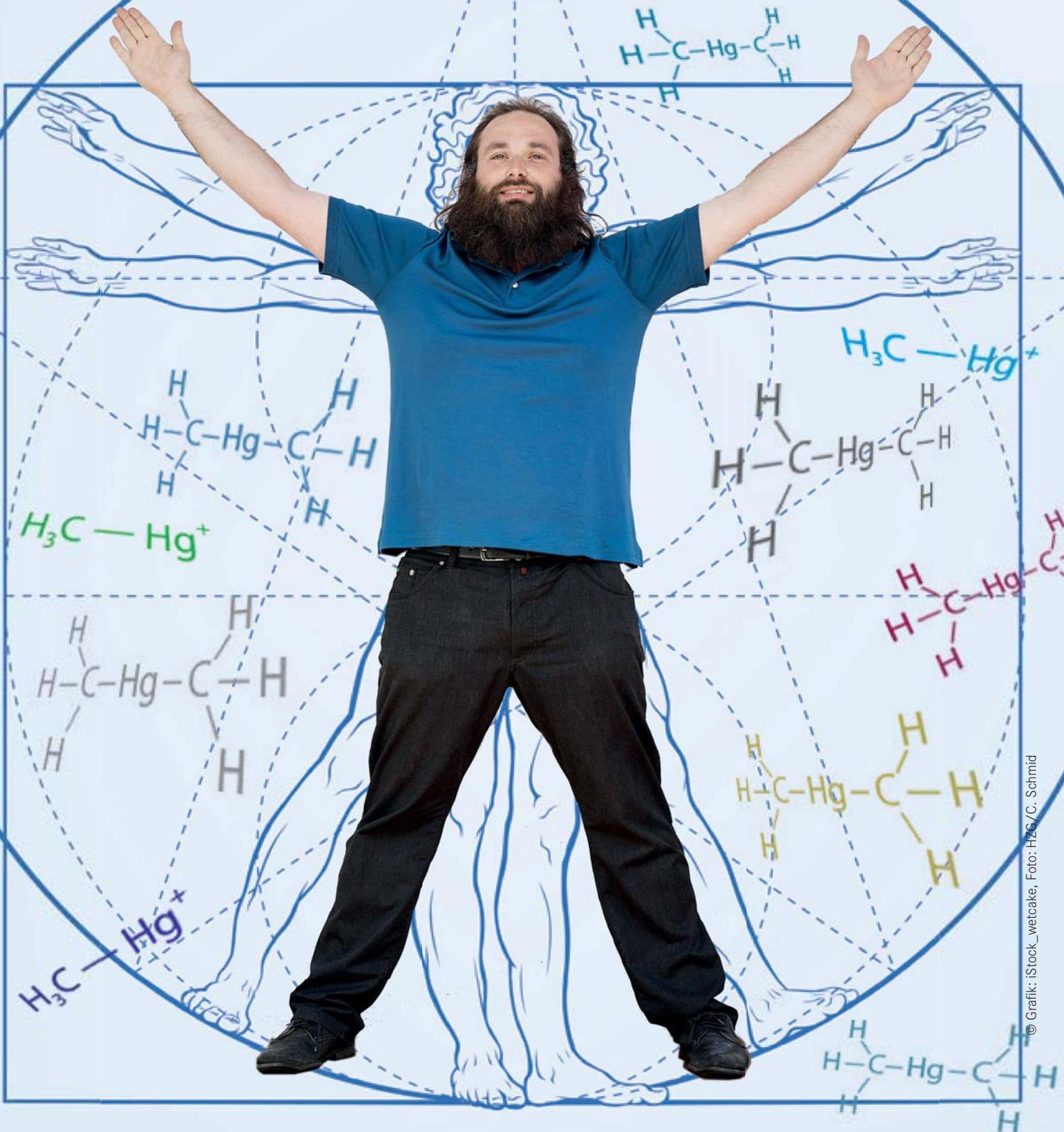
schaftlichen Arbeiten verfolgt Andreas Lendlein einen interdisziplinären Ansatz, in dem Prinzipien aus Chemie, Physik, Biologie, Pharmazie und Verfahrenstechnik einbezogen werden, um beispielsweise Prozesse an der Grenzfläche zwischen Materialien und biologischen Umgebungen zu verstehen und dann gezielt steuern zu können. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Basis für die translationale Forschung mit den Schwerpunkten: biomaterial-basierte Regenerative Therapien, kontrollierte Wirkstofffreisetzungssysteme, Gesundheitstechnologien und Robotics. Andreas Lendlein studierte Chemie an der Johannes Gutenberg-Universität Mainz und promovierte an der ETH Zürich in Materialwissenschaft.



© HZG/C. Schmid

Nach einer Forschungstätigkeit im Bereich des Chemical Engineering am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge, USA habilitierte er im Fach Makromolekulare Chemie an der RWTH Aachen.

# Unterwegs in den Weiten der Wissenschaft



## **Dr. Johannes Bieser –** **forscht im Bereich Stofftransport und Ökosystemdynamik** **am Institut für Küstenforschung**

Dass Johannes Bieser Wissenschaftler aus Leidenschaft ist, merkt man sofort: „Aristoteles, Gottfried Wilhelm Leibniz, Leonardo da Vinci – von den großen Universalgelehrten war ich schon als Kind fasziniert“, erzählt er. Sie haben so viel gewusst, kannten sich in vielen Fachbereichen aus. „Das ist heute gar nicht mehr möglich, dafür haben wir als Gesellschaft viel zu viel Wissen und Informationen angesammelt.“ Doch trotzdem strebt Bieser an, möglichst viele Forschungsbereiche in seinen Arbeiten miteinander zu verbinden.

Ursprünglich kommt Johannes Bieser aus einer kleinen Stadt im Schwarzwald. Nach dem Abitur wollte er unbedingt die Großstadtatmosphäre erleben – für seinen Zivildienst ist er deshalb nach Hamburg gezogen. „Für mich war das einfach die coolste Großstadt in Deutschland“, erzählt er nun lachend. Dass er dort viele Jahre später mit seiner Familie dauerhaft leben wird, hat er damals noch nicht geahnt.

Die Entscheidung, welchen Studiengang er nehmen soll, war eine riesige Herausforderung für ihn: Von Molekularbiologie über Philosophie bis Musik war alles dabei. Schlussendlich hat der vielseitig interessierte Schwarzwälder Umweltwissenschaften an der Leuphana Universität Lüneburg gewählt, da der Studiengang für ihn viele Disziplinen verbindet:



**Umweltwissenschaften zu studieren war für mich ein Versprechen, die Welt der Naturwissenschaften mit einem Bezug zur Gesellschaft und der Politik erforschen zu können.**

Schon während des Studiums baute der heute 35-Jährige Kontakt zum HZG auf. Ralf Ebinghaus, Leiter der Abteilung „Umweltchemie“ am HZG und Professor an der Uni in Lüneburg, schlug ihm 2005 vor, ein Praktikum in Geesthacht zu machen. Durch das Praktikum hat Bieser seine Liebe zur Computermodellierung entdeckt. „Ich habe zwar als Kind schon programmiert und mit meinem Bruder Netzwerke aufgebaut – aber wie das so ist, habe ich vergessen, wie viel Spaß mir sowas machte.“ Seine Diplomarbeit und auch die Promotion schrieb er daraufhin am HZG.

In der Dissertation ging es in erster Linie darum, ein europäisches Emissionsmodell zu erstellen. Um herauszufinden, wo bestimmte Schadstoff-Partikel herkommen, nutzen die Wissenschaftler zeitlich und räumlich hochaufgelöste Modelle. Dafür wird auf verschiedenste Datensätze zugegriffen, die anschließend wie ein Puzzle zusammengebastelt werden. Über die Landkarte wird dann ein Gitter gelegt. Für jede dieser Gitterzellen werden Daten gesammelt. „Wenn wir zum Beispiel wissen, wie viel Treibstoff ein Land verbraucht, wo Landwirtschaft betrieben

wird und wie groß bestimmte Wälder sind, können wir all diese Daten und noch viel mehr miteinander verschneiden.“ In dem von Bieser programmierten Modell, kann er einzelne Parameter verändern. Er berechnet, was passiert, wenn wir weniger Auto fahren würden oder welche Auswirkungen es hat, wenn Wald gerodet wird oder der Fleischkonsum sinkt. Das Modell selbst ist für ihn nur ein Werkzeug, das Vorhersagen ermöglicht. Sein eigentliches Forschungsinteresse jedoch gilt dem Transport und der Umwandlung von Schadstoffen in der Umwelt. In seiner Promotion hat der Forscher das Emissionsmodell auf einen ganz speziellen Schadstoff angewendet: Benzo(a)Pyren, ein krebserregender Schadstoff, der vor allem bei Holzverbrennungen entsteht.

Heute beschäftigt sich der Umweltwissenschaftler hauptsächlich mit seinem Lieblings-Element: Quecksilber. Quecksilber ist ein einzigartiges Element – als Schwermetall ist es viermal schwerer als Eisen. Trotzdem ist sein natürlicher Aggregatzustand in der Atmosphäre gasförmig. Zudem ist es hoch toxisch und reichert sich als Methylquecksilber in der Nahrungskette an. „Von seinen chemischen Eigenschaften her ist es einzigartig – in meinen Augen müsste es eine eigene Kategorie im Periodensystem bekommen. Außerdem gibt es nichts auf der Erde, wo sich nicht wenigstens in extrem winzigen Mengen Quecksilber finden lässt“, schwärmt Bieser. Gerade deshalb sei es spannend zu untersuchen, wie es sich verteile. Dadurch, dass das Element nicht abgebaut werden kann und kaum stabile Bindungen eingeht, bleiben anthropogene Emissionen bis zu zehntausend Jahre im System. In den letzten 150 Jahren hat sich die Menge an Quecksilber in Luft und Wasser verfünffacht. Vor allem die Prozesse im Ozean sind noch weitgehend unerforscht. „Durch neue Messtechnik erhalten wir Daten, ohne die wir lange nur spekulieren konnten. Die Forschung im Bereich der Methylquecksilberverteilung hat gerade erst angefangen“, sagt Bieser. Auch zuhause in Sülldorf, am Stadtrand von Hamburg, wo Bieser mit seiner Frau und den beiden Töchtern lebt, beschäftigt er sich oft noch mit seiner Forschung.



**Wenn Wissenschaft nicht eines deiner Hobbies ist – dann bist du auch kein richtiger Wissenschaftler.**

Ab und zu versinkt er dort total in seiner Arbeit. „Manchmal kann ich halt nicht anders“, erzählt er schmunzelnd. „Aber auf unserem Hof mit Katze, zwei Hunden, zwei Pferden und den Hühnern finde ich genug Ablenkung – da gibt es viel körperliche Arbeit im Freien.“ Dass die Umwelt ihm am Herzen liegt, zeigt sich nicht nur in seiner Arbeit: Familie Bieser ist begeistert im Bereich Foodsharing unterwegs. Wenn Johannes Bieser neben all dem noch Zeit findet, setzt er sich ans Klavier: „Das ist die einzige Beschäftigung, bei der ich wirklich alles andere ausblende.“

**Autorin: Gesa Seidel (HZG)**



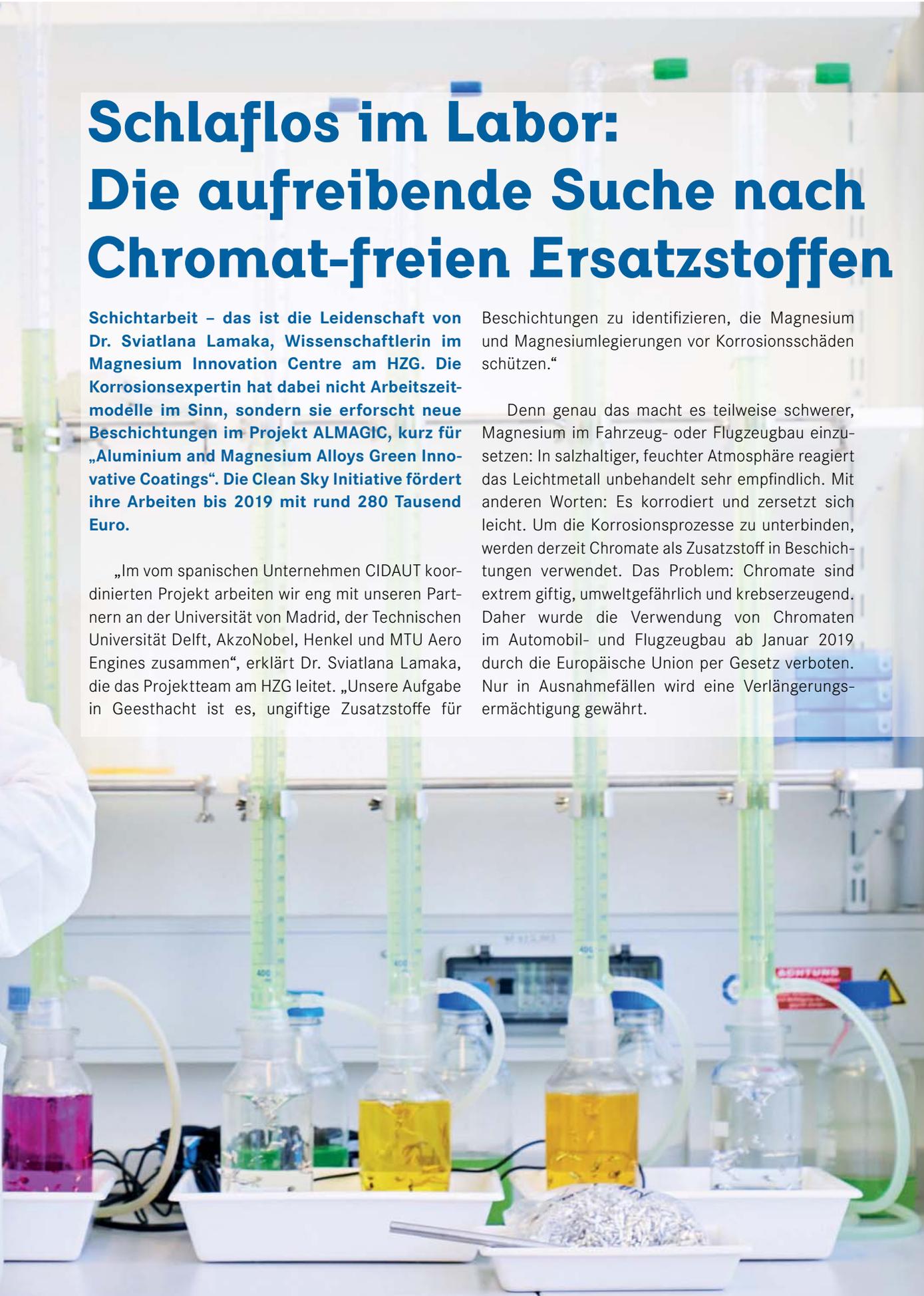
# Schlaflos im Labor: Die aufreibende Suche nach Chromat-freien Ersatzstoffen

**Schichtarbeit – das ist die Leidenschaft von Dr. Sviatlana Lamaka, Wissenschaftlerin im Magnesium Innovation Centre am HZG. Die Korrosionsexpertin hat dabei nicht Arbeitszeitmodelle im Sinn, sondern sie erforscht neue Beschichtungen im Projekt ALMAGIC, kurz für „Aluminium and Magnesium Alloys Green Innovative Coatings“. Die Clean Sky Initiative fördert ihre Arbeiten bis 2019 mit rund 280 Tausend Euro.**

„Im vom spanischen Unternehmen CIDAUT koordinierten Projekt arbeiten wir eng mit unseren Partnern an der Universität von Madrid, der Technischen Universität Delft, AkzoNobel, Henkel und MTU Aero Engines zusammen“, erklärt Dr. Sviatlana Lamaka, die das Projektteam am HZG leitet. „Unsere Aufgabe in Geesthacht ist es, ungiftige Zusatzstoffe für

Beschichtungen zu identifizieren, die Magnesium und Magnesiumlegierungen vor Korrosionsschäden schützen.“

Denn genau das macht es teilweise schwerer, Magnesium im Fahrzeug- oder Flugzeugbau einzusetzen: In salzhaltiger, feuchter Atmosphäre reagiert das Leichtmetall unbehandelt sehr empfindlich. Mit anderen Worten: Es korrodiert und zersetzt sich leicht. Um die Korrosionsprozesse zu unterbinden, werden derzeit Chromate als Zusatzstoff in Beschichtungen verwendet. Das Problem: Chromate sind extrem giftig, umweltgefährlich und krebserzeugend. Daher wurde die Verwendung von Chromaten im Automobil- und Flugzeugbau ab Januar 2019 durch die Europäische Union per Gesetz verboten. Nur in Ausnahmefällen wird eine Verlängerungsermächtigung gewährt.





## Clean Sky

Sei es Ausstoß von Klimagasen oder Lärmbelästigung: Die Umweltbilanz der Luftfahrtindustrie fällt nicht immer positiv aus. Im übergreifenden Luftfahrt-Projekt Clean Sky 2 werden daher neue Technologien für sauberere und leisere Flugzeuge erforscht. Die gemeinsame Initiative der Europäischen Kommission und der Luftfahrtindustrie soll sämtliche Technologie- und Servicebereiche verbessern: Von der Flugzeugkonzeptentwicklung über neue Antriebsarten bis hin zu umweltfreundlichem Betrieb.

Einen kleinen aber unverzichtbaren Teil bildet die Entwicklung neuer Chromat-freier Beschichtungen für im Flugzeugbau eingesetzte Magnesium-Bauteile, um diese vor Korrosionsprozessen zu schützen.



Fotos © HZG/C. Schmid

Aus den sechs Legierungen plus drei Reinsorten wurden kleine Magnesiumschnipsel hergestellt, die aufgrund ihrer runden Form und Größe eine besonders große Oberfläche aufweisen. Bahram Vaghefinazari misst hier in verschiedenen Flüssigkeiten an ihnen die Wasserstoff-Produktion mit und ohne Hemmstoff.

Proben beschichteter Magnesiumplättchen werden im Inkubator über mehrere Tage oder Wochen salzhaltiger feuchter Luft ausgesetzt. Dr. Sviatlana Lamaka und Bahram Vaghefinazari überprüfen die Proben.



Ein Ersatz für die Chromate ist demnach für viele Industriebereiche enorm bedeutsam. Ihn zu finden gleicht einer Herkulesaufgabe: Im Projekt ALMAGIC haben Sviatlana Lamaka sowie die HZG-Doktoranden Bahram Vaghefinazari und Di Mei bislang mehr als 150 chemische Verbindungen getestet. Die korrosionshemmende Wirkung wurde gegenüber sechs verschiedenen Legierungen und drei Sorten von reinem Magnesium untersucht.

Aussichtsreichste Kandidaten nach zigtausend Versuchen: Verbindungen die drei- und zweiwertiges Eisen ( $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ ) binden. Eisen, das immer als geringfügige Verunreinigung im Magnesium vorliegt, neigt dazu, eine sich schnell ausdehnende kathodische Reaktion einzuleiten. Im Team der Abteilung Korrosion und Oberflächentechnik wurde aus dieser Beobachtung die Hypothese abgeleitet, dass

die Magnesiumkorrosion gehemmt wird, wenn die Eisen-Ionen abgefangen werden.

Rund zwei Jahre dauerte die Suche nach den Magnesium-Korrosionsinhibitoren, die auf diesem Konzept basieren. Daraus ergaben sich nicht nur mehrere wissenschaftliche Veröffentlichungen, sondern wie Sviatlana Lamaka betont: „Es ist für mich sehr befriedigend, dass zahllose schlaflose Nächte vor einem Elektronenmikroskop zur Lösung des dringenden Problems beitragen könnten, krebserregende, hochgiftige Chromate durch umweltfreundliche Stoffe zu ersetzen. Die Mission, einen Ersatz für die krebserregenden Chromate zu finden, ist damit jedoch noch nicht abgeschlossen. Es ist eine Sache, einen vielversprechenden Inhibitor zu finden, es ist jedoch viel herausfordernder sicherzustellen, dass er als Teil einer Beschichtung weiterhin Korrosionsvorgänge hemmt“.

Autorin: Heidrun Hillen (HZG)



**Lamaka:**

**Es ist für mich sehr befriedigend, dass zahllose schlaflose Nächte vor einem Elektronenmikroskop zur Lösung des dringenden Problems beitragen könnten, krebserregende, hochgiftige Chromate durch umweltfreundliche Stoffe zu ersetzen.**





**Stärker, zäher, härter:  
Wie Wissenschaftler das Verhalten  
von Werkstoffen enträtseln**



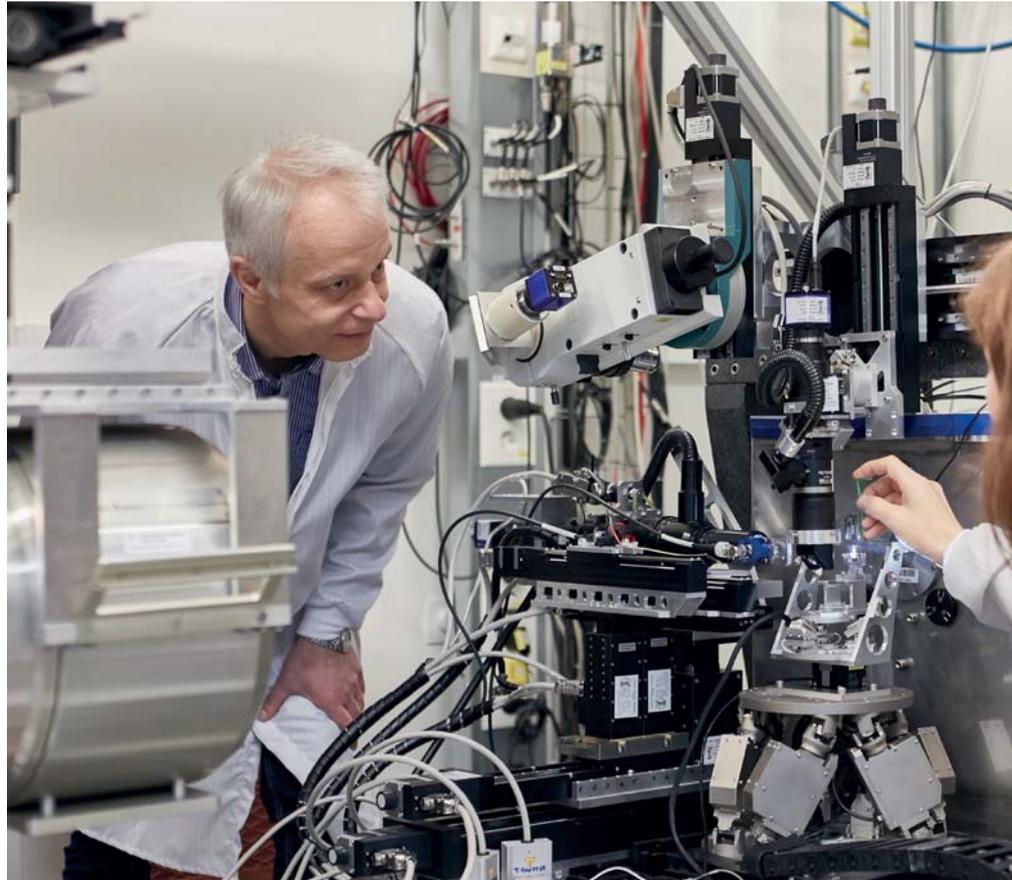
**Dr. Christina Krywka** leitet seit 2016 die HZG-Abteilung „Röntgenbildgebung mit Synchrotronstrahlung“. Schon zuvor war sie für die Nanofocus Endstation an der P03-Beamline verantwortlich – damals noch als Physikerin der Christian-Albrechts-Universität in Kiel. Physikstudium sowie Promotion hat sie an der Universität Dortmund absolviert.



**Prof. Jozef Keckes** ist seit 2000 Assoziierter-Professor an der Montanuniversität Leoben (Österreich). Der geborene Slowake hat Festkörperphysik studiert und ist ein Gruppenleiter in der Abteilung „Materialphysik“ an der Montanuniversität.



**Keckes:**  
**Wir untersuchen mit einem Nanoindenter die mechanischen Eigenschaften der Schichten.**



An der Beamline wurden zwei aufeinander aufbauende Hexapod-Positionierer eingesetzt. Dabei bewegen je sechs Antriebselemente die Plattform mit der Probe in den Strahl.

**Schrrmp – mit einem satten schmatzähnlichen Geräusch schließen sich die schweren Türen. Der kleine, mit Instrumenten vollgestellte Experimentier-raum kann ab sofort nicht mehr betreten werden. Eine Wand aus Beton und Blei schützt die Außenwelt vor der Röntgenstrahlung in der Nanofocus Endstation des Helmholtz-Zentrums Geesthacht (HZG) an der Beamline P03 am Deutschen Elektronen Synchrotron DESY in Hamburg.**

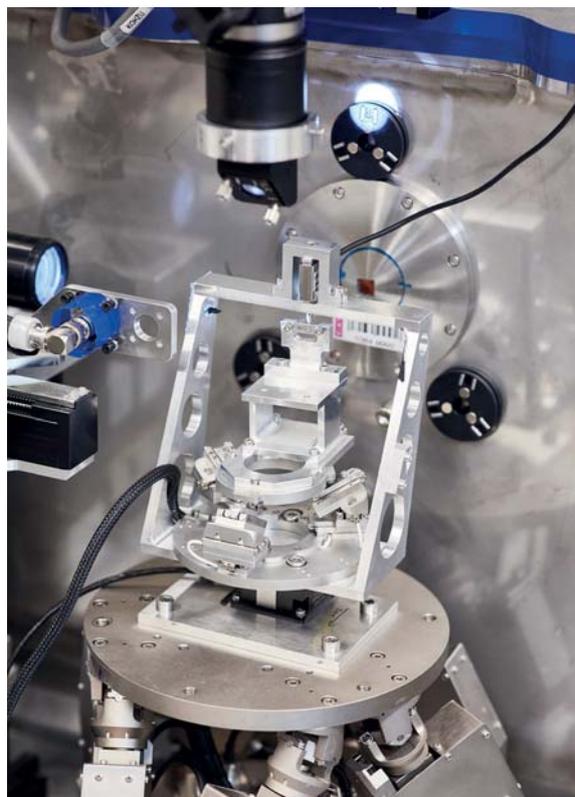
Während drinnen der abgelenkte Röntgenstrahl eine Probe durchleuchtet, beobachten nebenan Physikerin Dr. Christina Krywka und Physiker Prof. Jozef Keckes gespannt die Monitore. Jetzt können die Leiterin der Abteilung „Röntgenbildgebung mit Synchrotronstrahlung“ des HZG und der Gruppenleiter der Abteilung Materialphysik der Montanuniversität Leoben (Österreich) nur noch hoffen, dass die Probe alle Vorbereitungen heil überstanden hat. Etwas zu verändern würde jetzt sehr viel wertvolle Strahlzeit an der Beamline kosten.

Da! Es zeigen sich die charakteristischen Kreise des Diffraktionsexperiments. Erleichtert schauen sich die Beiden an: Die Probe ist intakt, diese Daten können benutzt und ausgewertet werden. Jetzt können sie ihre werkstoffwissenschaftlichen Fragestellungen systematisch angehen.

Die Wissenschaftler untersuchen für Industriepartner, zum Beispiel Motorenhersteller oder Turbinenbauer, spezielle Werkzeuge. Diese sind extrem hart und werden genutzt, um einzelne Komponenten-



Fotos © HZG/R. Otziplka



Die Positionierer drücken die Probe mit definierter Kraft in die Spitze des Indenters (Bild rechts).

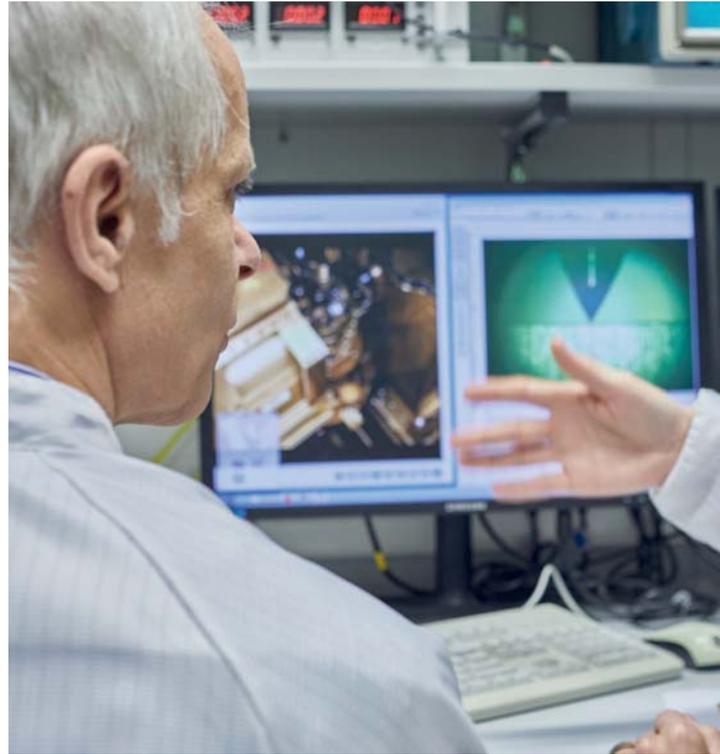


ten aus einem Rohmaterial herauszufräsen oder zu schneiden. Als Rohmaterial für die Werkzeuge wird häufig Hartmetall eingesetzt, das hauptsächlich aus Wolframkarbid besteht. Kaum ein Material ist noch härter. Trotzdem nutzen sich diese Werkzeuge irgendwann ab, es kann nur eine begrenzte Anzahl Bauteile damit hergestellt werden. Um ihre Lebensdauer zu verlängern, werden sie mit Spezialbeschichtungen versehen. Die hauchdünnen Schichten sind wenige Mikrometer dünn und bestehen zum Beispiel aus Titanitrit.

Die Arbeitsgruppe von Jozef Keckes untersucht und entwickelt solche Schichten. Warum werden die harten Schichten auf den Werkzeugen nicht einfach doppelt oder dreifach so dick aufgetragen? Dazu Jozef Keckes: „Aufgrund der darin gezielt eingebrachten Eigenspannung können die Schichten nicht dicker werden, sie würden abplatzen. Außerdem wachsen die Schichten auf dem Substrat durch einen Sputtern genannten Prozess. Dabei werden im Plasma die Schichten Atom für Atom aufgebaut. Das kann Stunden oder manchmal Tage dauern.“

Seit 2011 kommt Materialforscher Jozef Keckes mit seiner Gruppe regelmäßig nach Hamburg, um an der Nanofocus Endstation seine Untersuchungen an den Beschichtungen durchzuführen. Dabei häufig an seiner Seite: Christina Krywka, die seitens HZG diese Einrichtung an der Beamline P03 betreut und eingerichtet hat. Jozef Keckes: „Wir untersuchen mit einem Nanoindenter die mechanischen Eigenschaften der Schichten. Unsere Frage war, wie das Material auf der mikroskopischen Skala auf äußere Einflüsse reagiert, wie etwa auf hohen Druck.“

Ein Indenter ist eine extrem scharfe, kleinste Diamantspitze, die mit einer definierten Kraft eine winzige Kerbe in die Schicht der Probe drückt. So wird zum Beispiel mit einer Kraft von 10 Millinewton eingedrückt, das entspricht einem Gewicht von 1 Gramm.



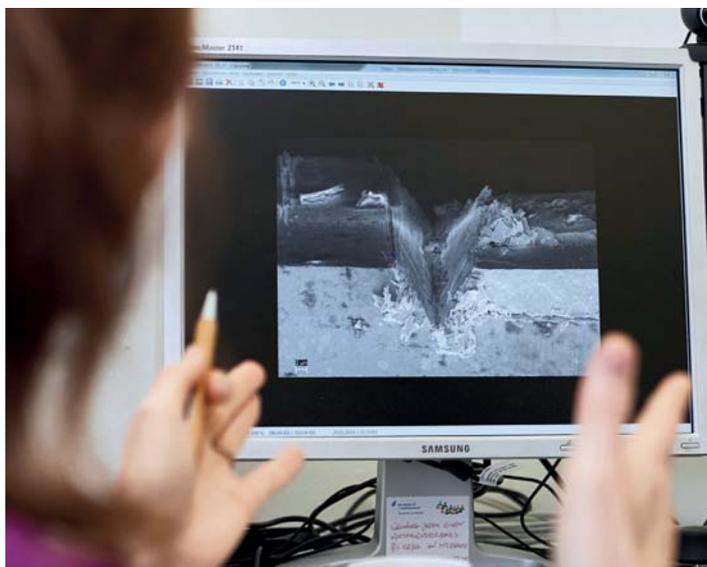
Während der Messungen und später im Büro bleibt Zeit, um die kommenden Experimente zu besprechen. Die Messungen werden unter anderem auch mit Bildern, die am Elektronenmikroskop gemacht wurden, verglichen.

Die Idee von Christina Krywka und HZG-Institutsleiter Prof. Dr. Martin Müller war es, eine Anlage zu bauen, die es ermöglichen würde, den Prozess der Verformung in Echtzeit zu beobachten – und damit einen lang gehegten Wunsch von Jozef Keckes zu erfüllen. Während der Indenter in die Schicht eindringt, sollen Streubilder an der Beamline entstehen. Der große Vorteil solcher in situ (in Echtzeit) Experimente ist es, dass dabei auch die elastischen Verformungen beobachtet werden können, die nur während des Drückens entstehen. Diese wären später, wenn die Spitze wieder entfernt ist, nicht mehr sichtbar. Denn ex situ – nach der Einkerbung – ist nur noch die bleibende plastische Verformung im Material zu erkennen.

Gemessen wird zudem mit verschiedenen, sich verändernden Kräften in zahlreichen Proben. So lässt sich die unmittelbare elastische Reaktion des Materials, die Eigenspannung, als Funktion der Kraft und als Funktion der Eindringtiefe sowie als Funktion der Umgebung darstellen.

„Wir wollten verstehen, wie das Material auf dieser kleinen Längenskala mit einer äußeren Kraft umgeht. Bis wir unser Experiment entwickelt hatten, konnten Spannungsfelder nicht in situ aufgenommen werden. Hier mussten Modellierer Annahmen treffen und das Modellverständnis musste extrem exakt sein. Kleinste Fehler in den Annahmen machen große Abweichungen zwischen dem rechnerischen Modell und dem realen Material aus“, erklärt Jozef Keckes.

Die Herausforderung für die Echtzeit-Messung bestand darin, die Geometrie des Gerätes so zu bauen, dass es mit der Geometrie des Röntgenstrahls und des Aufbaus an der Beamline kompatibel ist. Dazu wurden zwei aufeinander aufbauende Hexapod-Positionierer benutzt. Diese Präzisionsgeräte richten Proben in allen vertikalen und horizontalen Richtungen aus. Auch mussten der Rahmen um den Indenter sowie die Hexapod-Positionierer so ausgelegt werden, dass sie sich bei den relativ hohen Kräften nicht verformen. Denn dadurch würden sich die Messungen verfälschen.



**Krywka:  
Wir planen  
sozusagen das  
Schweizer Messer  
der in situ  
Nanoindentation.**

Die Lösung: Ein Hexapod bewegt die Probe mit definierter Kraft von unten in den festinstallierten Indenter, dessen Diamantspitze steht bewegungslos im Röntgenstrahl. Der zweite Hexapod bewegt den Gesamtaufbau in den Strahl. Das genaue Abrastern der Probe mit dem Röntgenstrahl wird mit einem dazwischenliegenden, präzisen Piezo-Positionierer ermöglicht.

Eine weitere Schwierigkeit bestand darin, das System so leicht zu machen, dass die empfindlichen Hexapoden sowie alle anderen verbauten Positionierer die Last aushalten, denn diese äußerst präzisen Geräte vertragen keine Überlastung. „Wir sind direkt in die Elektronik eingestiegen und haben die Steuerung einiger dieser Positionierer angepasst“, erklärt Krywka.

Nachdem 2011 bis 2013 zunächst die Proben ex situ gemessen wurden, starteten Ende 2013 die ersten Messungen mit dem Indenter im Strahl. „Wir mussten uns die Technologie neu ausdenken und auch die Probenvorbereitung bereitete uns Kopfzerbrechen. Dann musste alles mathematisch formuliert und zum Beispiel die Eigenspannung der Materialien evaluiert werden. Wir haben circa zwei Jahre gebraucht, um alle Komponenten zu berücksichtigen und die Daten korrekt auszuwerten und publizieren zu können“, berichtet Jozef Keckes.

Mit Erfolg: Heute können sie mit dem Nanoindenter an der Beamline in Echtzeit messen, bei welchen Lasten oder Kräften die Beschichtungen versagen. Als erste Erkenntnisse konnten sie so zum Teil die Annahmen der Modellierer im realen Experiment bestätigen.

Die Kombination aus Röntgennanostrahl-Diffraktion und Nanoindentation wurde weltweit erstmals von Keckes und Krywka realisiert. Und schon soll es weitergehen. Christina Krywka: „Wir planen sozusagen das Schweizer Messer der in situ Nanoindentation. Wir entwickeln derzeit einen neuen Nanoindenter, der den gesamten Kraftbereich von wenigen Millinewton bis hin zu mehreren Newton abdecken kann. Damit könnten noch viel mehr Materialklassen untersucht werden.“ Außerdem soll der Kraftsensor eine digitale Schnittstelle zur Beamline-Hardware erhalten.

Damit bleibt sichergestellt, dass Christina Krywka und Jozef Keckes noch zahlreiche weitere Tage vor den Beamline-Monitoren sitzen werden. Ihre werkstoffwissenschaftlichen Fragestellungen lassen die beiden nicht los.

**Autorin: Heidrun Hillen (HZG)**

# Auf dem Weg zum HyScore

**Wissenschaftlern des HZG ist es gelungen, Aktivkohle in eine Polymermembran einzuarbeiten. Die neue Membran trennt Gasgemische sehr effizient.**

Sie bilden eine Barriere zwischen zwei Bereichen, kontrollieren zum Beispiel, welche Moleküle die Grenze passieren dürfen – die Rede ist von Membranen.

Ob in der Biologie, in der Chemie oder in unserem Alltag: Membranen sind vielerorts zu finden. Membranen aus Polymeren werden zum Beispiel schon lange für die Trennung von Gasgemischen genutzt. Die Vorteile von Polymeren im Vergleich zu anderen Ausgangsmaterialien sind unter anderem die guten Verarbeitungsmöglichkeiten, die zu mechanisch stabilen Membranen führen.

Bei der Herstellung können aber nicht nur Polymere, sondern auch Zusätze wie nanoskalige Füllstoffe oder Additive verwendet werden. Diese sogenannten Mixed-Matrix Membranen kombinieren die Eigenschaften der Polymermembran mit denen der Additive und ermöglichen so ein Ergebnis, das mit den verschiedenen Einzelwerkstoffen nicht möglich wäre.

Ein Team aus Wissenschaftlern des HZG-Instituts für Polymerforschung hat nun eine defektfreie Membran aus Polymeren und Aktivkohle hergestellt. Dr. Prokopios Georgopoulos, Wissenschaftler am HZG, erklärt: „Bislang wurde die Selektivität (Trennschärfe) bei steigender Permeabilität (Durchlässigkeit) schlechter. Das bedeutet: Je schneller die Gase durch die Membran hindurch gelangen, desto stärker nimmt die Qualität der Trennleistung ab.“ Das Besondere bei der neu entwickelten Membran: Eine steigende Permeabilität führt hier nicht zu Einbußen in der Selektivität. „Im Vergleich zu der reinen Polymermembran trennt diese Mixed-Matrix Membran eine Gasgemische effizienter, so dass eine geringere Membranfläche ausreicht.“

Bei dieser neuen Kombination aus Polymer und Aktivkohle konnten die Wissenschaftler nun durch verschiedene Analysen und Messungen zeigen, dass die Aktivkohle in der Mixed-Matrix Membran einen Einfluss



Doktorand Fynn Weigelt



Dr. Prokopios Georgopoulos

auf das Permeationsverhalten hat. Die Polymerforscher haben verschiedene Membranen mit unterschiedlichem Aktivkohleanteil hergestellt: dieser reichte von null bis hin zu 50 Prozent des Volumens. „Wir haben festgestellt, dass mit steigendem Anteil an Aktivkohle die Permeabilität steigt, die Selektivität aber stabil bleibt.“ Die Wissenschaftler vermuten, dass die eingelagerte Aktivkohle die Transportmechanismen der Gase in der Polymermembran verändert. Doktorand Fynn Weigelt hat die praktischen Experimente mit theoretischen Modellen verglichen. Dabei hat sich gezeigt, dass Theorie und Praxis gut übereinstimmen.

Der nächste Schritt wird nun sein, zu überprüfen, inwieweit die Forscher diese neuen Materialien für die Wasserstofftechnologie einsetzen können. Die Idee ist, dass ähnliche Polymerkomposite später in Wasserstoffspeichertanks eingesetzt werden können. Hier kommen die Kollegen aus der Werkstofftechnologie ins Spiel, die unter anderem Materialien für die Wasserstoffspeicherung entwickeln.

Georgopoulos und Weigelt haben zusammen mit anderen Wissenschaftlern aus dem Institut für Polymerforschung die ersten Ergebnisse ihrer Arbeit Anfang 2018 in der Open Access Fachzeitschrift *Polymers* veröffentlicht. Die Forschungsarbeiten finden im Rahmen des Projekts HyScore („Effiziente H<sub>2</sub>-Speicherung durch neuartige hierarchisch poröse Core-Shell Strukturen mit eingelagerten Leichtmetallhydriden“) statt, das am HZG gemeinsam vom Institut für Polymerforschung und dem Bereich Werkstofftechnologie im Institut für Werkstoffforschung bearbeitet wird. Das Verbundprojekt wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung mit zwei Millionen Euro gefördert.

Autorin: Gesa Seidel (HZG)



# Relevante Zukunftsfragen! Antworten aus der Wissenschaft?



“ **Dr. Domonkos Tolnai**  
(Magnesium Innovation Centre MagIC)

Der Großteil der Magnesiumlegierungen wird mittels Gießverfahren hergestellt. Deshalb ist es sehr wichtig, Erkenntnisse über das Erstarrungsverhalten von unterschiedlichen Magnesiumlegierungen zu sammeln. Dafür führen wir in situ Röntgenexperimente durch, die es uns ermöglichen, einen Einblick in die Mikrostrukturentwicklung während der Erstarrung zu erhalten.

“ **Dr. Natalia Konchakova**  
(Magnesium Innovation Centre MagIC)

Ich beschäftige mich mit Modellierung, Simulation und Charakterisierung von Magnesium und Magnesiumlegierungen, um die Korrosionsmechanismen und das Schädigungsverhalten im Detail zu verstehen sowie die Modellierungswerkzeuge für die rechnerische Analyse und die Lebensdauerprognose von Magnesiumwerkstoffen bereitzustellen.



“ **Martin Bönewitz**  
(Systemanalyse und Modellierung)

Das Ziel meiner Arbeit ist es, neben den naturwissenschaftlichen Untersuchungen eine gesellschaftliche Perspektive auf die Prozesse und auf die Gefährdungen in Ostfriesland zu gewinnen. Und das ist gerade in Hinblick auf den Klimawandel und den ansteigenden Meeresspiegel von einer grundlegenden Bedeutung für den zukünftigen Umgang mit Naturgefahren in Küstengebieten.



“ **Dr. Tobias Rudolph**  
(Mikro-/Nanotechnologie)

Ziel meiner Arbeit ist die Erforschung von polymerbasierten Materialien, die einen Formgedächtniseffekt aufweisen. Solche Formgedächtnismaterialien sind in der Lage, die Information über eine andere, zweite Form zu speichern und nehmen die gespeicherte Gestalt bei Anwendung eines geeigneten Stimulus (z.B. Erwärmung) aktiv ein. Insbesondere geht es bei meiner Forschung um Materialien, welche die Fähigkeit haben, reversibel hin- und herschalten zu können. Die Technologie der multifunktionalen polymeren Aktuatoren ist erforderlich, um weiche und autonome Roboter zu realisieren, die künftig komplizierte Funktionen ausführen sollen.



“ **Bettina Steuri**  
(Climate Service Center Germany)

Unsere Aufgabe besteht darin, wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Klimaforschung so aufzubereiten, dass sie auch für Akteure aus der Praxis verständlich und anwendbar sind, zum Beispiel in Unternehmen oder Verwaltungen. Das ist wichtig, weil der Klimawandel und seine Folgen bereits jetzt spürbar sind. Städte nehmen hierbei schon heute und auch künftig eine bedeutende Rolle ein, denn sie sind besonders verwundbar gegenüber den Folgen des Klimawandels.



“ **Dr. Florian Wieland**  
(Metallische Biomaterialien)



Ich möchte verstehen, wie bio-abbaubare Implantate aus Magnesium im Körper abgebaut werden und was das für einen Einfluss auf den Knochen hat. Das ist wichtig, da bei permanenten Implantaten teilweise eine zweite Operation notwendig ist, um diese zu entfernen. Zum Beispiel bei Kindern, die noch wachsen: Das Implantat passt oft irgendwann nicht mehr. Bei bio-abbaubaren Implantaten würde eine zweite Operation entfallen, was für die Patienten angenehmer ist. Zum Weiteren würde es dazu führen, dass die Kosten insgesamt sowie die Risiken für eine Infektion sinken.

“ **Dr. Fabian Wilde**  
(Werkstoffphysik)



Das Ziel meiner Forschung ist es, unsern Nutzern die Beamline als bestmögliches Experiment anbieten zu können. Das heißt, wir wollen eine möglichst hohe Auflösung, eine möglichst hohe Geschwindigkeit – und das an der Grenze dessen, was gerade machbar ist. Das ist wichtig, damit Forscher aus aller Welt und auch wir an diesem Instrument state-of-the-art Messungen machen können.

# Mehr über Menschen und ihre Ideen

## Folgen Sie uns gerne!



[www.facebook.com/hzg.de](http://www.facebook.com/hzg.de)  
Auf Facebook berichten wir in Form von Bildern, Filmen und kurzen Texten über Ereignisse rund um das Forschungszentrum.



[www.instagram.com/hzg\\_de](http://www.instagram.com/hzg_de)  
Bei Instagram zeigen wir Ihnen beeindruckende Bilder aus der faszinierenden Welt der Material- und Küstenforschung.



[www.twitter.com/HZG\\_de](http://www.twitter.com/HZG_de)  
Auf Twitter verlinken wir schnell und zeitnah neue Wissenschaftsartikel, Jobs, Events und teilen Inhalte unserer Forschungspartner.



[www.youtube.com/user/HZGde](http://www.youtube.com/user/HZGde)  
Auf unserem YouTube-Profil finden Sie beeindruckende Filme über unsere Forschungsarbeiten vor Ort am Campus und in der weiten Welt.

