

hoch³FORSCHEN

Das Medium für Wissenschaft

Sommer 2020



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Impressum

Herausgeberin

Die Präsidentin
der TU Darmstadt

Redaktion Stabsstelle

Kommunikation und Medien
der TU Darmstadt:

Jörg Feuck (Leitung, Vi.S.d.P.)
Ulrike Albrecht (Grafik Design)
Patrick Bal (Bildredaktion)

Titelbild Christian Schumacher
nutzt robotische Laufsysteme
zur Erforschung menschlicher
Bewegungen; **Bild:** Katrin Binner

Druck Druckerei Petzold GmbH,
Darmstadt
gedruckt auf 100 g/m²
PlanoScript, FSC-zertifiziert

Auflage 5.000

Nächste Ausgabe
15. September 2020

Leserservice

presse@tu-darmstadt.de

ISSN 2196-1506



Möchten Sie die nächste
Ausgabe der hoch³FORSCHEN
gerne in digitaler Form
erhalten? Dann senden Sie
bitte eine E-Mail an
presse@tu-darmstadt.de

— **1 Materialwissenschaften:** Membranen gegen Coronaviren — **2 Politikwissenschaft:**
Konsequenter zur Energiewende — **3 Physik:** Stop and Go für Photonen
— **4 Humanwissenschaften:** Bewegungsforscher helfen Roboter auf die Beine

Navigieren durch die Energiewende

Wie kann die Politik die Energiewende besser koordinieren und die Menschen intensiver einbeziehen? Michèle Knodt, Professorin für Politikwissenschaft an der TU Darmstadt, analysiert Problemfelder und gibt konkrete Empfehlungen.

Frau Professorin Knodt, Sie erforschen die politische Umsetzung der Energiewende und haben zuletzt das Kopernikus-Projekt ENavi mitgesteuert. Warum brauchen wir ein Navigationsgerät für die Transformation?

Weil es mit dem Transformationsprozess an vielen Stellen hakt. Weniger beim Ausbau der Erneuerbaren Energien. Da stehen wir relativ gut da. Was nicht funktioniert, sind die Einsparungen bei den CO₂-Emissionen, vor allem in den Bereichen Energie, Wohnen und Verkehr. Beim Thema Effizienz hinken wir ebenfalls hinterher.

Woran liegt das nach Ihrer Einschätzung?

Die Energietransformation ist ein Querschnittsthema, das ganz viele Bereiche vom Strom über Mobilität bis hin zum Wohnen berührt. Um das zu managen, muss die Politik in zwei Dimensionen agieren, also auf der horizontalen Ebene eine Vielzahl an Ministerien koordinieren und vertikal betrachtet die verschiedenen Gestaltungs- und Entscheidungsebenen einbinden – von der EU bis zu den Bundesländern. Und da sehen wir Schwachstellen.

Wie sieht die Situation in Deutschland aus?

In Deutschland sind inklusive des Kanzleramts sechs Ressorts beteiligt. Die Führung für Energie liegt beim Bundeswirtschaftsministerium und für Klima beim Umweltministerium. Allein im BMWI befassen sich 34 Referate in vier Abteilungen mit dem Thema. Wenn man das hochrechnet, kann man sich vorstellen, wie viele Menschen Sie zusammenbringen müssen. Deutschland verfolgt dabei das Prinzip der negativen Koordination. Dies bedeutet: Einer hat die Federführung und legt einen Vorschlag vor, der dann die Runde durch die Ressorts macht. Die haben eigene Ressourcen, wollen ihre Zuständigkeiten verteidigen und werden außerdem unterschiedlich parteipolitisch geführt. Beim Ringen um den 2016 vorgelegten Klimaplan konnte man gut sehen, wohin diese Mischung aus Ressort-Partikularismus und Parteipolitik führt. Nämlich zum kleinsten gemeinsamen Nenner.

Was wäre Ihr Vorschlag?

Wir empfehlen den Weg der positiven Koordination, zum Beispiel mit einer interministeriellen Gruppe, die

auf fachlich-inhaltlich-technischer Ebene angesiedelt ist. Ein Gremium, das gemeinsame Perspektiven entwickelt und dann einen Vorschlag erarbeitet, mit dem sich alle über die Ressort- und Parteigrenzen hinweg identifizieren können. Das führt meistens zu qualitativ besseren Ergebnissen. Je länger solche Gremien zusammenarbeiten, desto größer wird ihr Korpsgeist. In der EU konnte man diesen positiven Effekt zum Beispiel bei der langjährigen Zusammenarbeit der Core Executives im Finanzbereich beobachten.

Immerhin gibt es in Deutschland seit 2019 ein Klimakabinett, bei dem alle Zuständigen an einem Tisch sitzen. Ist das nicht ein Schritt in die richtige Richtung?

Im Prinzip schon. Aber schon am Namen merkt man, dass das Ganze falsch aufgehängt ist. Da sitzen die Hausspitzen zusammen und verhandeln über die Vorlage eines Ministeriums, vor allem aber über das, was gerade politisch hoch umstritten ist. Das kann nicht funktionieren, weil es vor allem politisch und ideologisch getrieben ist. Man sieht ja: Die Menschen sind unzufrieden mit den Ergebnissen. Die Resonanz auf die Regelungen zur CO₂-Abgabe war verheerend. Wir würden dafür plädieren, den Gestaltungsprozess viel niedriger anzusetzen und eine kontinuierliche interministerielle Zusammenarbeit auf der Fachebene zu installieren. Es geht darum, etwas gemeinsam zu erarbeiten.

Schauen wir in Richtung EU. Die Energieunion soll dafür sorgen, dass die Energie- und Klimaziele verfolgt und umgesetzt werden, aber ihr fehlen hierfür offenbar die richtigen Instrumente.

Die EU steht vor einem Dilemma. Einerseits soll sie sich darum kümmern, dass Energie sicher, nachhaltig und wettbewerbsfähig wird. Andererseits darf sie sich nicht in die Energiepolitik der Mitgliedstaaten einmischen. Sie hat null Eingriffsmöglichkeiten. Die Energieunion ist 2014 also unter denkbar schlechten Voraussetzungen gestartet: ohne Sanktionsrechte, ohne Selbstverpflichtungen der Mitgliedstaaten, aber belastet durch Konflikte zwischen Ost und West. Hieran hat auch die Governance-Verordnung von 2018 wenig geändert.

Informationen

Vergleichende Analyse politischer Systeme und Integrationsforschung

Prof. Dr. Michèle Knodt
Telefon: 06151/16-57353
E-Mail:
knodt@pg.tu-darmstadt.de
<https://bit.ly/36eZKVD>



Abbildung: Katrin Binner

Dr. Cornelia Fraune, Professorin Michèle Knodt und Dr. Jörg Kemmerzell entwickeln Empfehlungen zur Governance der Energiewende

Warum?

Weil sie nach wie vor nur eine weiche Steuerung ermöglicht. Ohne Hierarchien und Kompetenzen kann die EU nur Leitlinien vorlegen, sich die Umsetzung zeigen lassen, sie bewerten und Verbesserungsvorschläge machen. Dem sollen und können die Mitgliedstaaten folgen, müssen sie aber nicht.

Wie kann man der Energieunion zu mehr Durchsetzungskraft verhelfen?

Man müsste die Energiepolitik an ein Politikfeld koppeln, das harte Steuerungsmöglichkeiten hat: die Strukturpolitik. Sie wurde zwar ursprünglich zur Förderung schwächerer EU-Regionen initiiert, aber heute profitieren alle Mitgliedstaaten von diesen Fonds. Energietransformation und Klimawandel sind bereits inhaltliche Schwerpunkte, die hierüber gefördert werden. Dies müsste man weiter ausbauen und stärker mit den Bestimmungen der Governance-Verordnung verzahnen. So wären nicht nur stärkere inhaltliche Vorgaben und Akzente möglich. Man könnte vor allem auch die Vergabe und Auszahlung von Fördergeldern an die Umsetzung bestimmter Maßnahmen koppeln.

Großen Handlungsbedarf sehen Sie auch beim Thema Bürgerbeteiligung. Wie kann man die Menschen besser in die Transformation einbinden?

Im Moment beobachten wir in Deutschland ein Paradox: Alle sind für die Energiewende, aber wenn es an die Umsetzung geht, sehen viele Menschen das plötzlich anders, zum Beispiel, wenn das Windrad vor der eigenen Tür gebaut werden soll. Das liegt daran, dass die Bürger insgesamt zu spät beteiligt werden. Erst im Raumordnungsverfahren gibt es

fest verankerte Partizipationsmöglichkeiten. An der weit davor liegenden Wertediskussion zu den übergeordneten Zielen der Energiewende und akzeptablen Zumutungen, also der Erarbeitung der großen Kriterien sind die Bürger nicht beteiligt. Wir brauchen aber Partizipation von Anfang an auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene. Und der Konsens, der auf diesen Ebenen erzielt wird, muss Eingang finden in das repräsentative System. So werden frühzeitig die roten Linien klar und so kann man letztlich auch die Akzeptanz für die Energietransformation erhöhen.

Interview: Jutta Witte. Sie ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Historikerin.

Kopernikus-Projekt ENavi

ENavi (Energiewende-Navigationssystem) wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Kopernikus-Projekte gefördert (Laufzeit: 15.10.2017 – 31.12.2019) und nimmt die Energiewende als gesamtgesellschaftlichen Veränderungsprozess in den Blick. An den 13 Arbeitspaketen beteiligten sich 84 Partner. Unter der Leitung von Prof. Dr. Michèle Knodt, geschäftsführende Direktorin des Instituts für Politikwissenschaft der TU Darmstadt und Mitglied des ENavi-Exekutivkomitees, analysierten mehrere Teams im Arbeitspaket „Wandel von Strukturen und Prozessen im Mehrebenen-Governance-System“ die Koordination der Energietransformation in Deutschland, Österreich und Polen, die Mehrebenen-Koordination innerhalb der Energie Union sowie die Möglichkeiten für eine bessere Mehrebenen-Partizipation.

Zum ENavi Final Report:

https://www.politikwissenschaft.tu-darmstadt.de/media/politikwissenschaft/ifp_dokumente/arbeitsbereiche_dokumente/vergleich_integration_1/enavi/FREI4_191216_ENavi-Bericht_DE_Doppelseiten.pdf

Pausetaste für Lichtteilchen

Forschende der TU Darmstadt stoppen einzelne Photonen und können sie auf Knopfdruck wieder loslassen. Das Werkzeug könnte etwa für abhörsichere Kommunikation genutzt werden. Oder für etwas bislang Unmögliches.

— Von Christian J. Meier

Wie stoppt man etwas, das schneller ist als alles andere, nicht greifbar und von Natur aus immer in Bewegung? Ein Team um die Physiker Dr. Thorsten Peters und Professor Thomas Halfmann tut das unmöglich Erscheinende. Sie stoppen Licht für winzige Sekundenbruchteile. Auf Knopfdruck beenden sie den Zwischenhalt, sodass der Lichtpuls seine Reise fortsetzt. Die Forschenden halten sogar einzelne Lichtteilchen an.

Was nach einer physikalischen Spielerei klingt, könnte für künftige Anwendungen nützlich sein. Die so genannte Quantentechnologie versucht, bizarre Effekte der Quantenphysik für schnellere Computer, präzisere Sensoren oder abhörsichere Kommunikation zu nutzen. Photonen spielen dabei eine entscheidende Rolle. Sie werden in der Quantentechnologie als Informationsträger genutzt. Dafür braucht man in der Physik zum Beispiel Lichtquellen, die auf Knopfdruck einzelne Photonen abgeben. Um die auf Lichtteilchen gespeicherte Information zu verarbeiten, wäre es zudem wichtig, wenn einzelne Photonen miteinander wechselwirken würden. Dies tun sie normalerweise nicht. In Quantencomputern der Zukunft sollen Lichtteilchen ihre Information auf Atome übertragen und umgekehrt. Auch dafür muss die Interaktion zwischen den beiden Teilchenarten verstärkt werden. Die von der Gruppe aus der TU Darmstadt gestoppten Photonen könnten das ermöglichen.

Wie funktioniert die Vollbremsung für Licht? Zwar gelingt es schon länger, Photonen gleichsam einzufrieren und auf Kommando wieder loszuschicken. Während des Zwischenstopps existieren die Lichtteilchen aber nicht als solche. Sie werden von einer Atomwolke geschluckt, die dabei einen so genannten angeregten Zustand annimmt. Dieser speichert das Photon gleichsam als Information. Erst auf ein Si-

gnal hin wandelt sich die Anregung wieder in ein Lichtteilchen um, das nun weiterfliegt. Die Darmstädter Forscher machen es ähnlich, doch mit einem wesentlichen Unterschied: Bei ihnen bleiben die Photonen als solche erhalten.

Das Licht steht buchstäblich still. Das Darmstädter Team nutzt eine besondere Glasfaser. Diese hat in der Mitte einen hohlen Kanal von weniger als zehn Tausendstel Millimetern Durchmesser. Um den Kern herum besitzt die Faser eine poröse Struktur, die Licht von sich fernhält. Dadurch konzentriert sich ein Laserstrahl in der Mitte des hohlen Kanals. Sein Querschnitt verengt sich auf rund einen Tausendstel Millimeter. Das Lichtbündel dient den Forschenden als eine Art Falle für Atome. Sie bringen Rubidium-Atome in die Hohlleiter. Diese sammeln sich aufgrund elektromagnetischer Kräfte in der Mitte des Laserstrahls. Nun schicken die Fachleute die Photonen in den Kanal, die sie stoppen wollen. Grob gesagt, gelingt die Vollbremsung durch zwei weitere Laserstrahlen, die beidseitig in die Hohlleiter geführt werden. Diese halten die Photonen, bildlich gesprochen, zwischen sich gefangen, wie zwei Fußballer, die den Ball hin- und her kicken.

„Es ist auch ähnlich zu einer Kammer, in der Licht zwischen zwei Spiegeln hin- und hergeworfen wird“, erklärt Thorsten Peters. „Nur eben ohne Spiegel.“ Das TU-Team ist das erste, dem es gelungen ist, Photonen in einer so engen Kapillare auf diese Art abzubremsen. Leicht war das nicht. Eine optische Eigenschaft namens „Doppelbrechung“ macht es sehr kompliziert. Durch aufwändige Analyse der Doppelbrechung konnte das Team seine Methode so verfeinern, dass das Stoppen einzelner Photonen gelang.

Mit dem Stoppen des Lichts an sich geben sie sich aber nicht zufrieden. „Unser Ziel war es, dass Photonen stärker mit Atomen wechselwirken als normalerweise“, sagt Peters. Insbesondere soll es gelingen, dass jeweils zwei Lichtteilchen gleichzeitig mit einem Atom in Interaktion treten. Das würde ein nützliches Phänomen hervorrufen, das in der Physik

„Unser Ziel war es, dass Photonen stärker mit Atomen wechselwirken als normalerweise.“

Informationen

Institut für
Angewandte Physik
Dr. Thorsten Peters
Telefon: 06151/16-20742
E-Mail:
thorsten.peters@physik.tu-
darmstadt.de
www.iap.tu-darmstadt.de/nlq/
research/

„nichtlineare Optik“ genannt wird. Dabei dringen Photonen in ein Medium, etwa einen speziellen Kristall, ein. Wenn zwei Lichtteilchen gleichzeitig auf eines der Atome des Kristalls treffen, interagieren sie untereinander. Dadurch verändert sich die Frequenz, sprich die Farbe, des Lichtes. Die neue Frequenz kann zum Beispiel die Summe der Frequenzen der eingestrahnten Photonen sein.

Technische Anwendungen solcher Effekte gibt es viele, zum Beispiel in Laserpointern. Die Methode hat einen Nachteil: Um zu garantieren, dass genügend Paare von Photonen jeweils simultan auf ein Atom im Medium treffen, braucht man Laser hoher Intensität. „Mit unserer Methode hingegen könnte eine schwache Lichtintensität reichen“, sagt Peters. Das gelingt, weil die Atome auf den gleichen engen Bereich in der Hohlleiter eingezwängt sind wie der Laserstrahl. Das Licht hat somit maximalen Kontakt mit der Atomwolke. Die Wahrscheinlichkeit, dass zwei Photonen simultan auf ein Atom treffen, ist somit schon bei kleiner Intensität des Lichtes relativ hoch. Der gleiche technische Kniff, der das Stoppen der Lichtteilchen ermöglicht, soll also eine neue Methode für die nichtlineare Optik schaffen.

Das Darmstädter Team hat mehr Ideen, sein neues Verfahren zu nutzen. Eine schaltbare Quelle für einzelne Photonen ist eine davon. Eine weitere: Ein Kristall aus Lichtteilchen. Kristalle bestehen

normalerweise aus absolut regelmäßig angeordneten Atomen, aufeinander geschichteten Kugeln vergleichbar. Eine große Anzahl gestoppter Lichtteilchen könnte ebenfalls ein geordnetes Gitter ausbilden. „Wir könnten damit einen Festkörper simulieren“, sagt Peters. Die Physik der festen Materialien ist ein aktives Forschungsgebiet. In der Forschung werden theoretische Modelle verwendet, um sie zu verstehen – oft durch Simulation in Computern. Doch die Modelle sind derart komplex, dass sie Rechner schnell überfordern. Daher suchen Forscher und Forscherinnen nach Möglichkeiten, Kristalle auf andere Weise nachzuahmen. Ein simulierter Festkörper aus Lichtteilchen wäre eine Art.

„**Wir arbeiten weiter intensiv daran**“, sagt Peters. Die Zusammenarbeit mit anderen Forschungsgruppen sei für den Erfolg entscheidend, so der Physiker. Die aktuelle Arbeit hat das Team zusammen mit Gruppen aus Taiwan und Bulgarien im Rahmen eines EU-geförderten Projektes erzielt. Auch Partner aus der Industrie sind an dem Forschungsprojekt beteiligt, das innovative Techniken für die Interaktion von Licht mit Materie entwickeln will. „Der Austausch ist sehr rege“, freut sich Peters. Die nächsten Erfolge werden nicht lange auf sich warten lassen.

Der Autor ist Wissenschaftsjournalist und promovierter Physiker.

Weiterführende Infos

Thorsten Peters et. al.: Single-photon-level narrowband memory in a hollow-core photonic bandgap fiber, *Optics Express*, Vol. 28, No. 4, 5340 (2020): www.osapublishing.org/abstract.cfm?URI=oe-28-4-5340

EU-Projekt LIMQUET (Light-Matter Interfaces for Quantum Enhanced Technologies): <https://blog.u-bourgogne.fr/limquet/>

— Experimenteller Aufbau zur Abbremsung einzelner Lichtteilchen in einer mit ultrakalten Atomen gefüllten Lichtleitfaser.

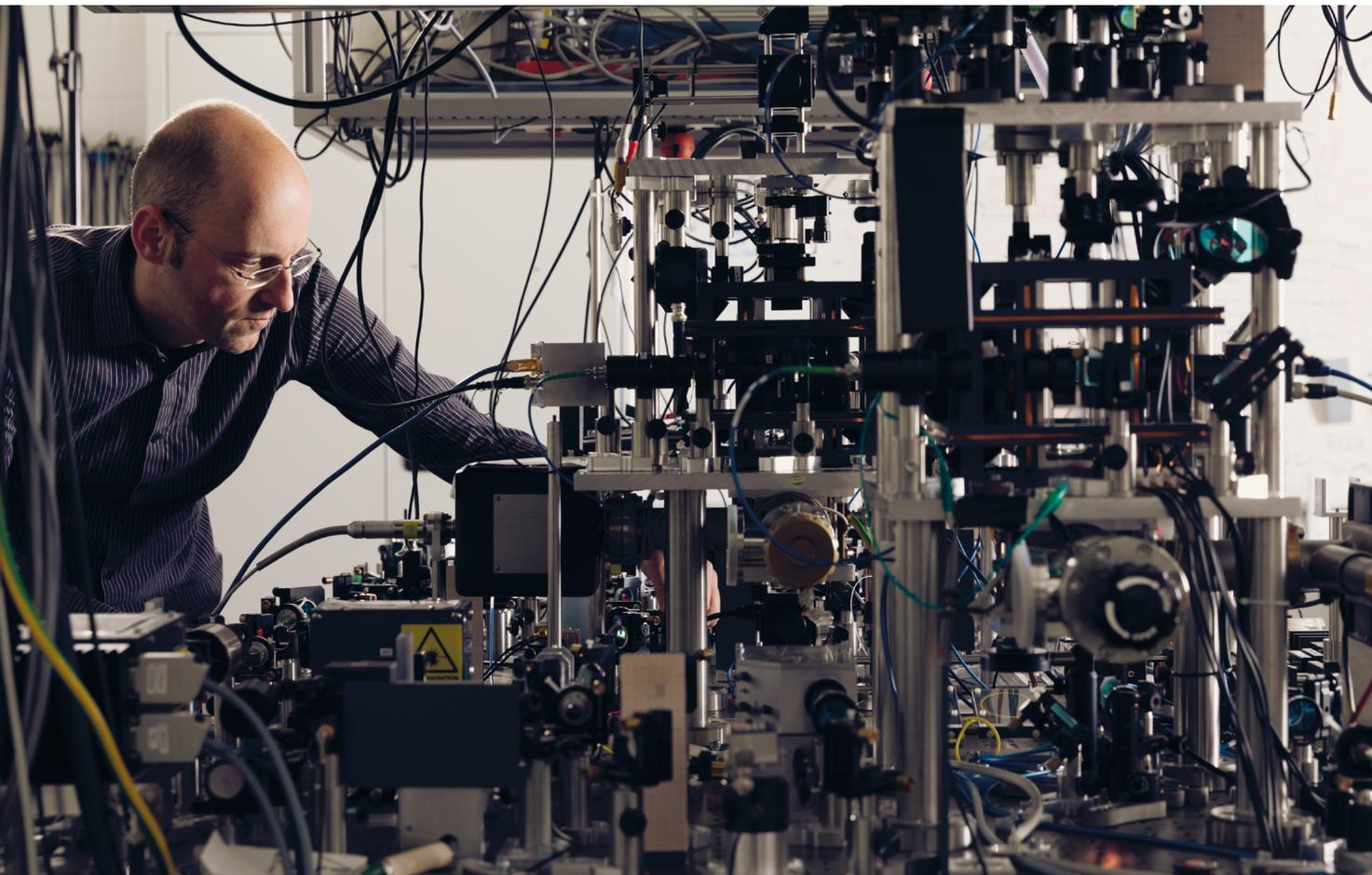


Abbildung: Katrin Binner

Weniger Stolpersteine

Die menschliche Bewegung beim Stolpern ist vielfältig – und erstaunlich unverstanden. TU-Bewegungsforschern gelang eine fundierte Erkenntnis, die sogar Robotern helfen könnte, die Balance zu wahren.

— Von Boris Hänßler

Der Angular Momentum Perturbator (AMP) sieht aus wie ein Rucksack. Er wiegt 16 Kilogramm und im Inneren befindet sich ein schnell drehender gefesselter Kreisel, der an einem motorisierten Rahmen so aufgehängt ist, dass durch eine zusätzliche Rotation Drehmomente auf die Person übertragen werden, die den „Rucksack“ schultert. Der AMP hat eine einfache Funktion: Er bringt die Versuchsperson zum Beispiel durch Richtungsänderungen ins Schwanken. Diese muss die erzeugte Störung mit dem Körper wieder ausgleichen, um nicht hinzufallen. Für Forscher Christian Schumacher und seine Kollegen vom Lauflabor der TU Darmstadt ist dieser Moment die Gelegenheit, einen genauen Blick auf die Muskulatur zu werfen.

Schumacher hat dafür Studien im Rahmen eines Forschungsaufenthalts am Biorobotics Lab der Technischen Universität Delft (Niederlande), in dem der AMP entwickelt wurde, durchgeführt. Die dortigen Forschungsgruppen waren weltweit die ersten, die ein solches System einsetzen, um die Funktion sogenannter biartikulärer (zwei-gelenkiger) Beinmuskeln zu untersuchen. Die Teams konnten erstmals experimentell belegen, dass diese Muskeln am stärksten reagierten, wenn es darum ging, den Oberkörper zum Beispiel nach einem Stoß unter Kontrolle zu bekommen. Ein Verständnis dieser Prozesse hilft nicht nur, die gesamte menschliche Motorik besser zu begreifen und mögliche Beeinträchtigungen mit Technik auszugleichen. Es begünstigt auch die Entwicklung von Robotern, die sicherer und effizienter auf zwei Beinen gehen sollen – was nach wie vor eine immense Herausforderung für die Wissenschaft ist.

Dass die menschlichen Bewegungsmechanismen noch nicht vollständig verstanden sind, hat gute Gründe. „Die große Problematik in der Bewegungsforschung ist, dass der Körper so mannigfaltig ist“,

sagt Schumacher. Wenn wir geschubst werden, stolpern oder auf einem unebenen Boden gehen, koordiniert unser Körper etwa eine Vielzahl von Muskeln, um die unsicheren Bewegungen wieder auszugleichen. Dabei stehen ihm immens viele Freiheitsgrade zur Verfügung – und damit viele Möglichkeiten, die Muskeln und Gelenke zu bewegen.

„**Stellen Sie sich vor**, Sie wollen ein Stift greifen, der vor Ihnen auf dem Tisch liegt“, sagt Schumacher. „Dann können Sie das in schier unendlich vielen Bewegungen ausführen.“ Die Mechanismen dabei sind verstanden: Zunächst entstehen neuronale Impulse im Gehirn, die im Rückenmark weiterverarbeitet und an die Muskulatur geleitet werden. Diese Impulse erzeugen die Kontraktionen der Muskeln und somit die Bewegung. Gleichzeitig kommen im Rückenmark sensorische Signale an, die zum Beispiel von den Hautrezeptoren in den Fingern ausgehen, etwa, sobald wir den Stift berühren und eine Gegenkraft spüren. Die Signale unterstützen die Kontrolle oder setzen wiederum neue Bewegungen in Gang.

„Eine Forschungshypothese ist, dass wir im Gehirn eine gewisse übergeordnete Repräsentation erzeugen. Die verarbeiteten Signale wandeln diese Entscheidungen in eine Art exakten Fahrplan für die einzelnen Muskeln um.“

Forschende können die Bewegungen zwar genau beobachten und etwa die neuronalen Signale der Muskulatur messen, aber diese lassen sich bislang nicht vorhersehen. „Das liegt zum Beispiel daran, dass Sie bei jeder Bewegung bestimmte Ziele haben, die die Art der Bewegung beeinflussen, zum Beispiel etwas effizient oder schnell machen zu wollen“, sagt Schumacher. So vielfältig wie die Beweggründe sind also auch die Bewegungen. Wenn Forschende somit nicht basierend auf Körperstrukturen und Hypothesen voraussagen können, wie eine Bewegung tatsächlich durchgeführt wird, ist es schwierig, die Rolle einzelner Muskeln im Gesamtkomplex zu erklären.

Ähnliches gilt auch für die Beinmuskulatur. Einer der Unterschiede zwischen Beinen und Armen ist, dass die Beinbewegung oft unbewusst stattfindet. Wer nach etwas greift, plant diese Bewegung, aber wer rennt und stolpert, muss sich stark auf seine Reflexe verlassen. Die Bewegung ist automatisiert. Das Rückenmark übernimmt sehr viel von der Kontrolle, in dem es sozusagen auf die eingehenden Signale unmittelbar reagiert und eine ganze Reihe von Muskeln gleichzeitig steuert. „Eine Forschungshypothese ist, dass wir im Gehirn eine gewisse übergeordnete Repräsentation erzeugen, zum Beispiel: Ich möchte unter diesen Zielen oder Randbedingungen von A nach B gehen“, erläutert Schumacher. „Die Signale, die im Rückenmark verarbeitet werden, wandeln diese Entscheidungen in eine Art exakten Fahrplan für die einzelnen Muskeln um, die dann wissen, was genau in welcher Weise wann zu tun ist.“

Informationen

Arbeitsbereich Sportbiomechanik

Christian Schumacher

Telefon: 06151/16-24134

E-Mail: christian.schumacher@tu-darmstadt.de

www.sport.tu-darmstadt.de



Professor André Seyfarth, Dr. Maziar Sharbafi und Christian Schumacher (v. l. n. r.) bei der Anpassung eines Soft-Suit-Exoskelett-Protoyps.

Zudem ist die biologische Energieeffizienz relevant im Bereich der Prothetik. Die meisten Prothesen sind heute immer noch passiv. Deshalb verbrauchen Prothesenträger beim Gehen bis zu 60 Prozent mehr Energie als Menschen ohne Prothesen. Systeme mit eigenem Antrieb, die Menschen beim Gehen aktiv unterstützen, benötigen jedoch eine gewisse Batteriekapazität – ihr deshalb höheres Gewicht ist für Träger allerdings unangenehm. Die Mechanismen der zwei-gelenkigen Muskeln können helfen, mit weniger Energie mehr zu bewirken.

Nicht zuletzt profitieren Exoskelette von diesen Ergebnissen. Die habensichindenletztenJahreerheblichweiterentwickelt. Wareneseinst schwerfällige mechanische Gerüste, so gibt es inzwischen Soft-Suit-Exoskelette – textilbasierte Systeme, die über Kabelzüge Kräfte übertragen. Sie unterstützen Menschen mit Bewegungsbeeinträchtigungen zum Beispiel beim Abdrücken oder Vorschieben des Beines. Die TU-Gruppe konnte bereits zeigen, dass Menschen mit Exoskeletten, die die Mechanismen von zwei-gelenkigen Muskeln berücksichtigen, effizienter gehen können.

Obwohl dies im Gegensatz zum Stift-Greifen automatisiert abläuft, herrscht die gleiche Vielfalt. „Wir haben sowohl zwischen Personen eine hohe Variabilität wie auch in den Funktionen selbst“, sagt Schumacher. Der eine werde vielleicht das Knie etwas mehr beugen, der andere einzelne Muskeln mehr benutzen. Die Variabilität sei ein Vorteil, denn wenn durch eine Verletzung eine bestimmte Funktion ausfalle, hätten wir mitunter die Möglichkeit, eine andere zu nutzen – mit häufig fast identischem Ergebnis. Dies macht uns sozusagen überlebensfähiger.

Um nun die Rolle der zwei-gelenkigen Muskeln zu untersuchen, teilten Schumacher und seine Kollegen Bewegungen in drei Grundfunktionen ein: die Standbein-Funktion, die Schwungbeinkontrolle und die Oberkörperbalance. Die Unterteilung in klar unterscheidbare Funktionen ermöglichte es, die unterschiedlichen funktionellen Beiträge der zwei-gelenkigen Muskeln zu erkennen. Die Wissenschaftler konnten unter anderem belegen, dass diese Muskeln, wie in der Theorie bereits vermutet, bei der Standbeinkontrolle sehr aktiv waren. Wenn es darum geht, sich vom Boden abzudrücken, ersparen sie uns Energie, weil sie diese vom einem Gelenk auf das andere übertragen können. Das führt dazu, dass wir uns effizienter fortbewegen, aber auch mehr Kraft zum Beispiel beim Hüpfen haben.

Nun geht es darum, die Erkenntnisse in der Robotik abzubilden. Bei Laufrobotern sollen zwei-gelenkige Aktoren – das Äquivalent von Muskeln – Ähnliches bewirken und den Abdruck sowie die Balance unterstützen, aber auch dabei helfen, das Schwungbein besser zu kontrollieren.

Der Autor ist Technikjournalist.

Beteiligte Forschungsgruppen:

Lauflabor des Instituts für Sportwissenschaften der TU Darmstadt <http://www.lauflabor.de>

Delft Biorobotics Lab der TU Delft <http://www.dbl.tudelft.nl>

Veröffentlichungen:

Review Paper über Simulationsmodelle, experimentelle Studien und robotische Systeme mit zweigelenkigen Muskeln: Schumacher, C., Sharbafi, M., Seyfarth, A., & Rode, C. (2020). Biarticular muscles in light of template models, experiments and robotics: a review. *Journal of the Royal Society Interface*, 17(163), 20180413. <http://doi.org/10.1098/rsif.2018.0413>

Störexperiment mit dem AMP (in Zusammenarbeit mit der TU Delft) Schumacher, C., Berry, A., Lemus, D., Rode, C., Seyfarth, A., & Vallery, H. (2019). Biarticular muscles are most responsive to upper-body pitch perturbations in human standing. *Scientific reports*, 9(1), 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-50995-3>

Nanomembranen als VirenfILTER



Abbildung: Katrin Binner

Professor Ensinger im Testlabor für Nanoporenmembranen zur Simulation von Virenfiltration.

Forschende aus den Materialwissenschaften um Professor Wolfgang Ensinger entwickeln Kunststoffmembranen mit Nanoporen. Jetzt testen sie, ob sich die dünnen Folien als Luftfilter im Kampf gegen Coronaviren eignen.

— Von Uta Neubauer

Der Auslöser der aktuellen Pandemie ist winzig. Mit einem Durchmesser von etwa 120 Nanometern ist das Coronavirus Sars-CoV-2 mehrere hundert Male kleiner als die Poren eines Baumwollstoffs. Selbstgenähte Gesichtsmasken schützen daher nur bedingt vor den Krankheitserregern. Die Membranen hingegen, die ein von TU-Professor Wolfgang Ensinger geleitetes Team herstellen, sind absolut virendicht. Sie bestehen aus hauchdünnen Folien mit Nanoporen. Viren passen nicht durch die kleinen Löcher – Luft, Wasser und andere kleine Moleküle hingegen schon.

Kann das Material als Filter gegen Coronaviren dienen? Dieser Frage gehen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler jetzt nach. Mit Nanopartikeln aus Siliziumdioxid haben sie die Filterkraft schon getestet. „Die Membran arbeitet höchst zuverlässig“, sagt Ensinger. Allerdings müsse bedacht werden, dass die Modellpartikel sehr steif seien,

während Viren eine gewisse Flexibilität besäßen: „Damit die Krankheitserreger nicht durchschlüpfen, sollte der Durchmesser der Nanoporen deutlich unter dem der Viren liegen.“ In dem Modellversuch wurden Folien mit Porendurchmessern von 60 Nanometern verwendet.

Bei der Entwicklung der Membranen arbeitet Ensingers Team eng mit Materialwissenschaftlern vom GSI Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung in Darmstadt zusammen. Dort werden die Nanoporenmembranen mit einem Verfahren namens Ionenstrahlätzung hergestellt. Die Technik ist in Deutschland nur am GSI möglich, denn sie erfordert eine Beschleunigungsanlage, die Ionen mit extrem hoher Energie auf eine Folie aus Kunststoff schießt. Beim Durchtritt durch die Folie zerstören die Ionen chemische Bindungen und hinterlassen geradlinige Spuren. Aus diesen Schadschadspuren lassen sich anschließend mit Natronlauge feine Kanäle ätzen.

Die Ionenstrahlätzung ist zwar aufwendig, aber durchaus industrietauglich: Ein kommerzieller Hersteller von Filtermaterialien produziert damit bereits Membranen für die Aufbereitung von Blutproben. Polycarbonat-Folien von der Rolle werden dafür erst durch den Beschleuniger gezogen, der sie mit Argon-Ionen beschießt, und dann durch das Ätzbäd.

Das Team der TU Darmstadt verwendet den extrem stabilen und hitze-resistenten Kunststoff Polyimid. Für dessen Durchlöcherung muss die Gruppe härteres Geschütz auffahren: Statt mit leichten Argon-Ionen beschießt sie ihre Folien mit schweren Gold-Ionen. Auch dieses Verfahren sei kommerzialisierbar, wenn sich ein Markt ergebe, betont Ensinger. Er denkt bei Anwendungen vor allem an Luftfiltersysteme, etwa für Virenlabore oder Quarantänestationen in Kliniken.

Für Schutzmasken eignen sich die Membranen bislang nicht, da sie nur zu zehn Prozent aus Nanoporen bestehen und zu wenig Luft zum Atmen durchlassen. Man müsste die Folie für diesen Zweck stärker perforieren – doch dann besteht das Risiko, dass die Poren zu größeren Löchern überlappen und Viren nicht mehr stoppen. „Das ist eine technische Optimierungsfrage, eine Abwägung zwischen dem Luftdurchsatz und der Häufigkeit von Porenclustern“, sagt Ensinger. Man darf gespannt sein, ob das Vorhaben gelingt. An mangelndem Bedarf für virendurchlässige Membranen sollte es jedenfalls nicht scheitern.

Die Autorin ist Wissenschaftsjournalistin und promovierte Chemikerin.

iNAPO: Winzige Sensoren

Im LOEWE-Schwerpunkt iNAPO, der zum Zentrum für Synthetische Biologie an der TU Darmstadt gehört, stanno Wolfgang Ensinger und seine Kollegen und Kolleginnen Nanoporenmembranen mit Erkennungselementen aus, um Biomoleküle zu identifizieren. Dieses Konzept möchten sie jetzt auf die Detektion von Viren oder Antikörpern ausdehnen. Dafür streben sie eine Kooperation mit Fachleuten aus der Virologie an.

Informationen

Centre for Synthetic Biology
Prof. Dr. Wolfgang Ensinger

Telefon: 06151/16-21992

E-Mail: wolfgang.ensinger@tu-darmstadt.de

www.tu-darmstadt.de/synbio/synbio/index.de.jsp