RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN

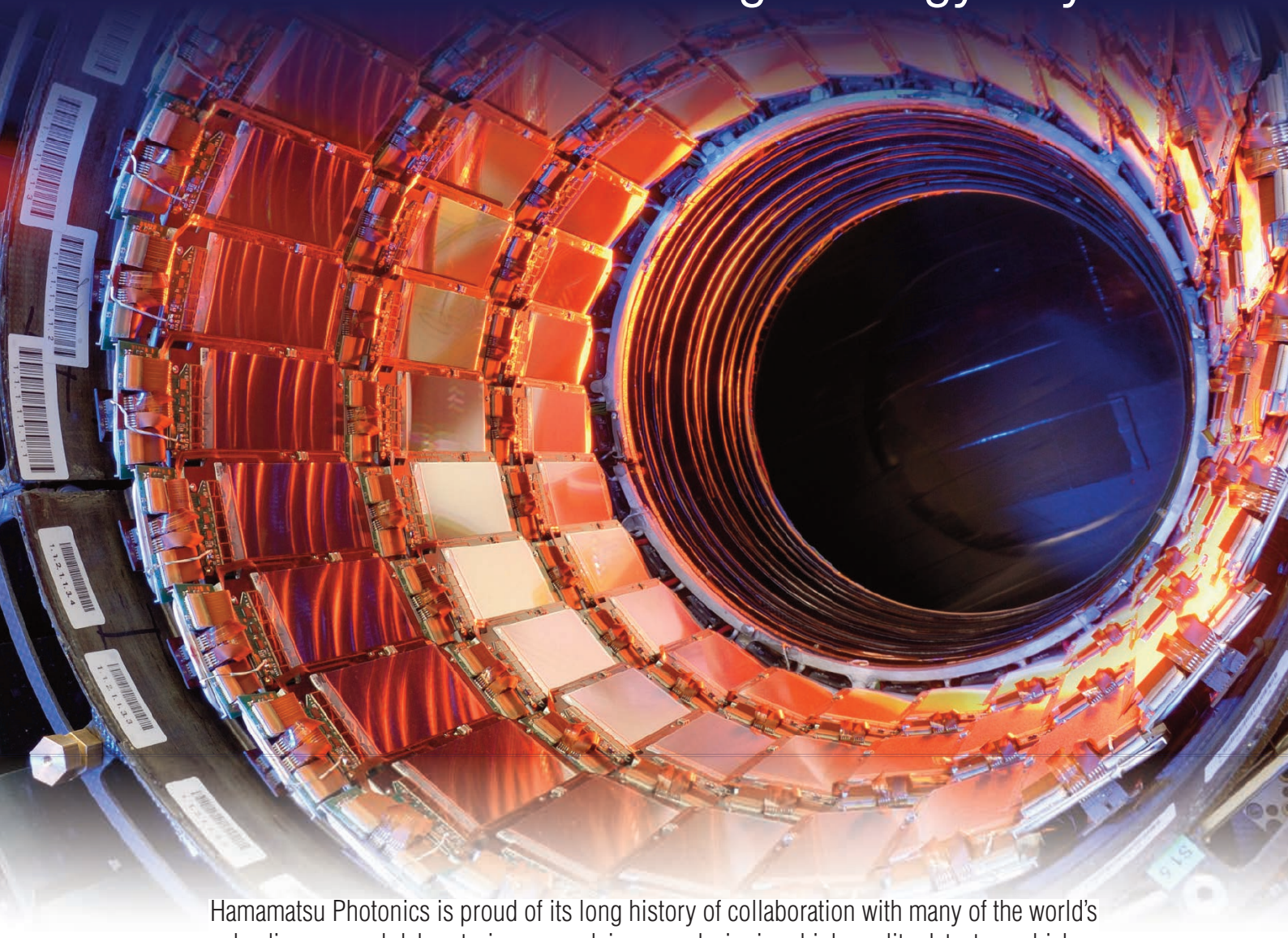
Schwerpunkt

GRENZEN DER WISSENSCHAFT

MEDIZIN: SCHNITTSTELLE MENSCH/MASCHINE
ASTRONOMIE: AN DER GRENZE DES MESSBAREN
THEOLOGIE: GLAUBE ODER WISSENSCHAFT

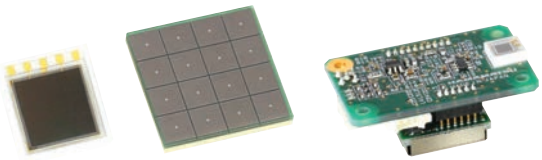
#28 Jahrgang
Nr. 1 | 2018

Innovative Detectors for High Energy Physics

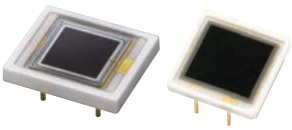


Hamamatsu Photonics is proud of its long history of collaboration with many of the world's leading research laboratories – supplying award winning, high quality detectors which have contributed to the achievement of many scientific milestones.

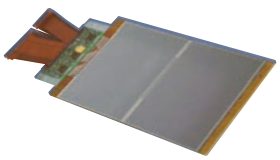
Photomultiplier Tubes and Modules
Super Kamiokande • LHC • KM3NeT
Xenon1T Experiment • FAIR/CMB-RICH



MPPCs®, Arrays and Modules
T2K Experiment • ILC
Cherenkov Telescope



Large Area APDs and Arrays
CMS • FAIR/PANDA



Silicon Strip Detectors
ATLAS • CLEO • DELPHI • LHC-B

HAMAMATSU
PHOTON IS OUR BUSINESS

www.hamamatsu.com

Foto: iStock, Allexxandar

AUS DER REDAKTION

Die moderne Wissenschaft ist zu erstaunlichen Leistungen fähig. Sie ergründet die winzigen Bausteine der Materie und die unsichtbaren Kräfte, die unsere Welt zusammenhalten. Sie schaut in unvorstellbare Weiten und erfasst kosmische Phänomene, die wir mit unseren menschlichen Sinnen nicht wahrnehmen können. Unablässig schieben Forscherinnen und Forscher die Grenzen dessen, was wir messen können, hinaus. Doch dort, wo methodische Limits überschritten werden, tun sich oft neue Beschränkungen auf, zum Beispiel ethischer Natur. Um letztere geht es in der aktuellen Rubin-Ausgabe mit dem Schwerpunkt „Grenzen der Wissenschaft“ ebenso wie um Forschungsprojekte, die sich am Rande des gerade noch Messbaren bewegen. Und auch die Schnittstelle, an der Wissenschaft und Gesellschaft verschmelzen, ist Thema im Mai-Heft.
Wie vielgestaltig die Grenzen der Wissenschaft sein können, hat das Redaktionsteam nicht nur in den Diskussionen mit dem wissenschaftlichen Beirat von Rubin erfahren, der sich auf mehreren Sitzungen mit dem Thema beschäftigt hat. Es wurde auch klar in den Gesprächen mit den Forscherinnen und Forschern, über die wir in der aktuellen Ausgabe berichten und von denen sich viele ihre eigenen Gedanken zu den Limitationen ihrer Disziplin gemacht haben.

Viel Spaß beim Erkunden der Grenzen!

Julia Weiler für das Redaktionsteam

RUBIN IM NETZ

Alle Rubin-Artikel im Newsportal der RUB:
news.rub.de/rubin

INHALT

03 **Aus der Redaktion**

06 **Forschung in Bildern**

10 **Wissenshäppchen**

12 *IT-Sicherheit*
Atomsprengköpfe zählen, ohne hinzuschauen

18 *Chemie*
Düngen oder nicht düngen – keine Frage

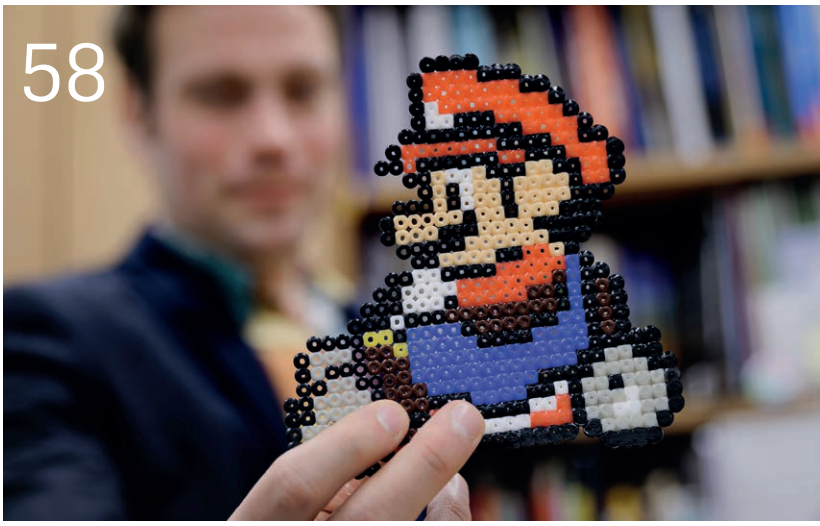
22 *Schwerpunkt*
GRENZEN DER WISSENSCHAFT

24 *Theologie*
Der Streit um Gott

26 *Theologie · Im Gespräch*
„Die Frage erhitzt die Gemüter“

28 *Neurowissenschaft*
Roboterarm mit dem Gehirn bewegen

32 *Standpunkte*
Wo sind die Grenzen meiner Forschung?



34 *Astronomie*
Ungeahnte Ordnung im All

38 *Medizinethik · Im Gespräch*
Forschung mit Demenzkranken

40 *Standpunkte*
Wo sind die Grenzen meiner Forschung?

42 *Wirtschaftswissenschaft · Im Gespräch*
Ökonomie und Verantwortung

44 *Politikberatung · Im Gespräch*
„Forschung sollte kein Dienstgeheimnis bleiben“

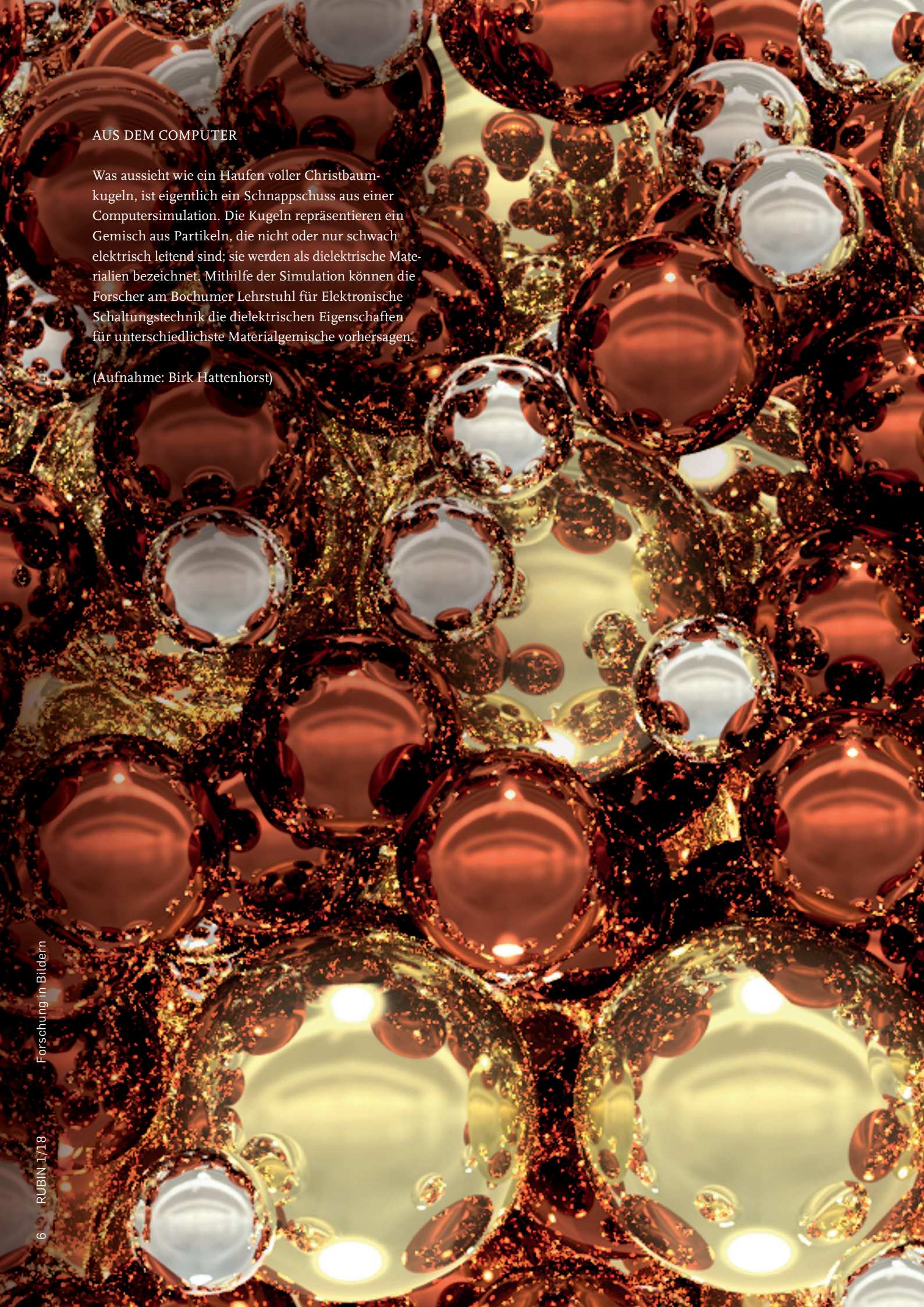
46 *Physik*
Exotischer Zuwachs im Teilchenzoo

50 *Bewegungswissenschaft*
Rätselhafte Muskelkraft

54 *Jura*
Sauberes Geld aus der Casino-Wäscherei?

58 *Geografie*
Inspiriert von Super Mario und Co.

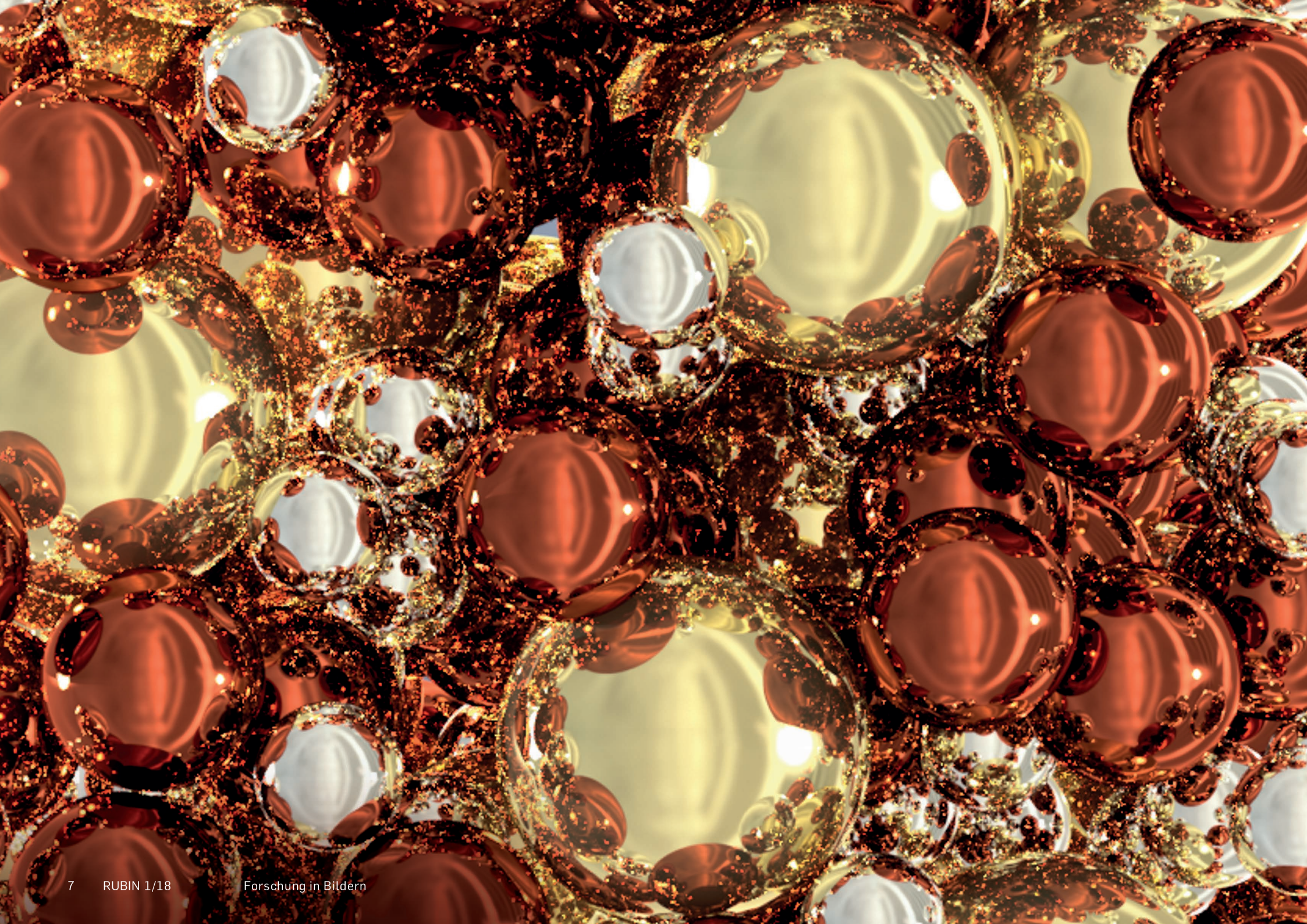
62 **Redaktionsschluss**

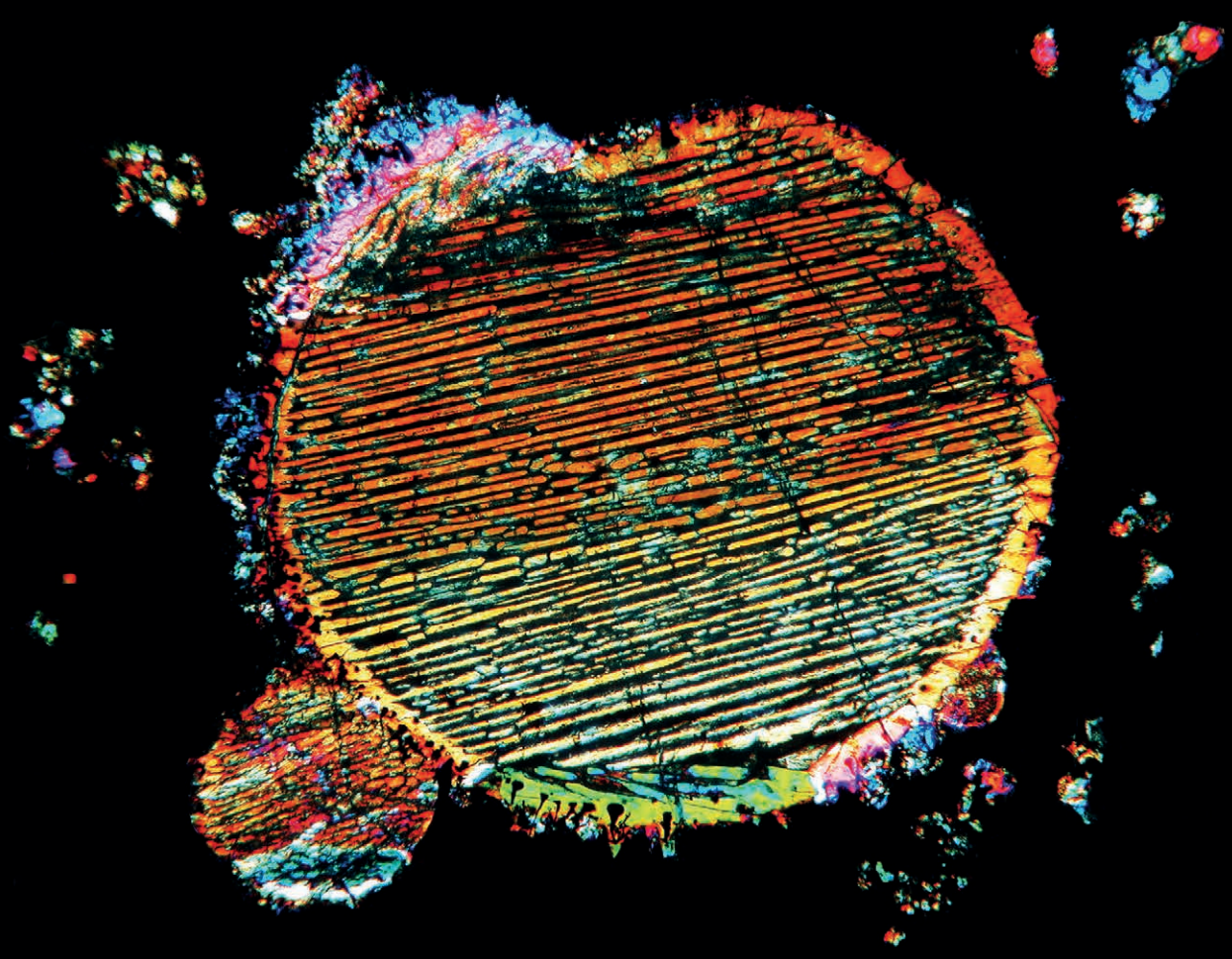


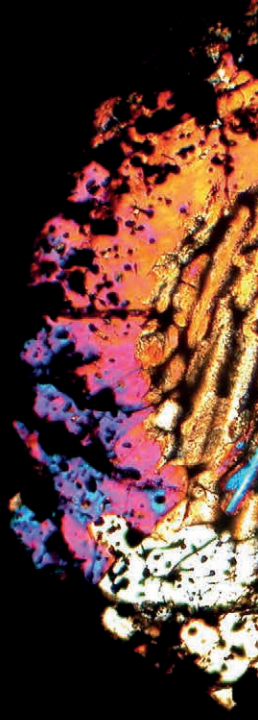
AUS DEM COMPUTER

Was aussieht wie ein Haufen voller Christbaumkugeln, ist eigentlich ein Schnappschuss aus einer Computersimulation. Die Kugeln repräsentieren ein Gemisch aus Partikeln, die nicht oder nur schwach elektrisch leitend sind; sie werden als dielektrische Materialien bezeichnet. Mithilfe der Simulation können die Forscher am Bochumer Lehrstuhl für Elektronische Schaltungstechnik die dielektrischen Eigenschaften für unterschiedlichste Materialgemische vorhersagen.

(Aufnahme: Birk Hattenhorst)



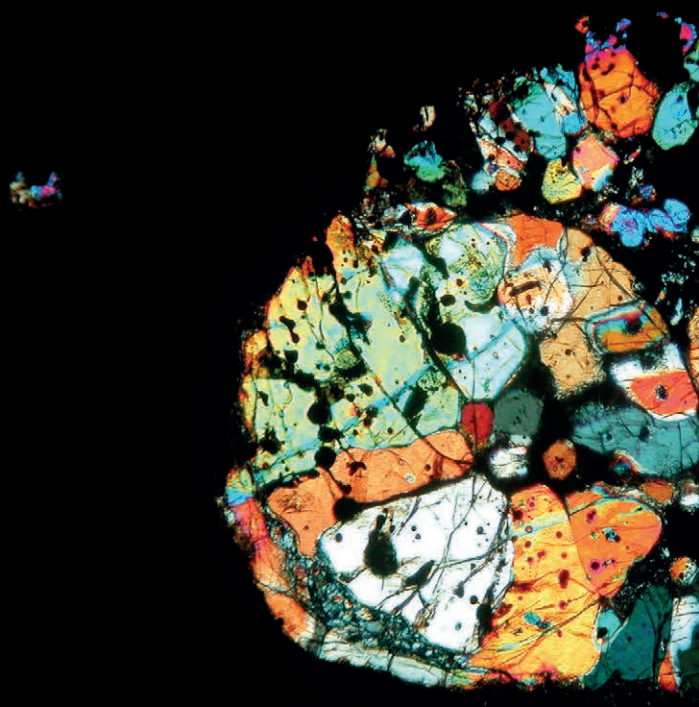


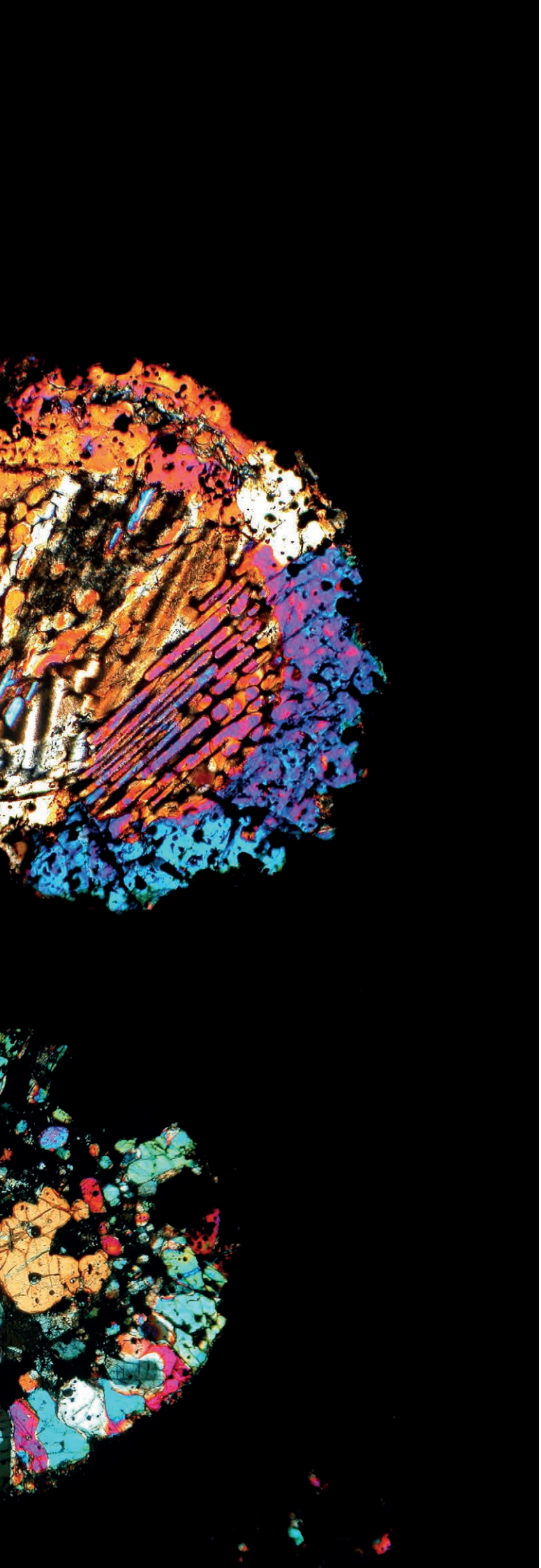


AUS DEM ALL

Die hier gezeigten Objekte sind sogenannte Chondren, Silikatkügelchen von oft weniger als einem Millimeter Durchmesser. Sie stammen aus Meteoriten; ursprünglich waren es Kondensationstropfen des solaren Nebels vor der Entstehung der Planeten. Es handelt sich um das älteste Material unseres Sonnensystems, das seit 4,56 Milliarden Jahren existiert und über Meteoriteneinschläge auf die Erde kam. Die Aufnahmen sind am Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik mit einem Polarisationsmikroskop entstanden. Das Gerät lässt Kristalle von unterschiedlicher Orientierung in verschiedenen Farben erscheinen.

(Aufnahmen: Hans-Peter Schertl)





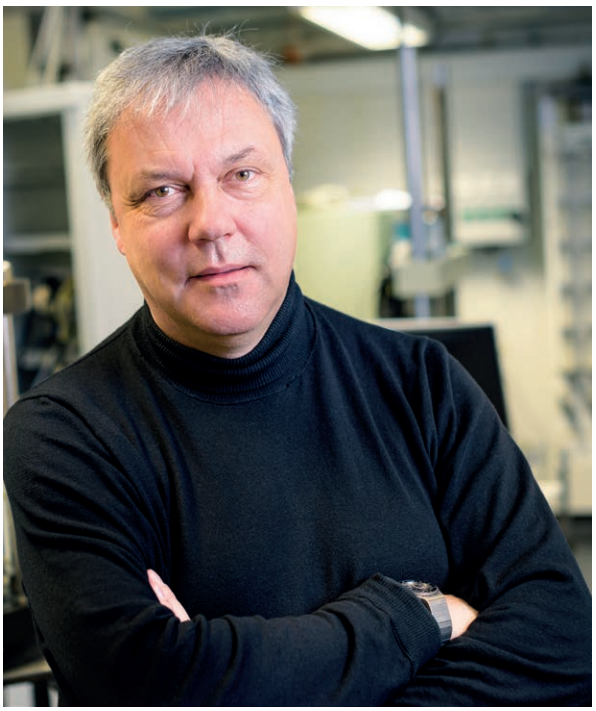


Foto: dg

NACHRUF

Die Redaktion und der wissenschaftliche Beirat von Rubin trauern um Prof. Dr. Tom Schanz. Er ist am 12. Oktober 2017 unerwartet im Alter von 55 Jahren verstorben.

Seit 2009 war Tom Schanz Inhaber des Lehrstuhls für Grundbau, Boden- und Felsmechanik an der Ruhr-Universität. 2015 folgte er der Einladung in den Rubin-Beirat. Er unterstützte die Redaktion bei der Themenfindung mit konstruktiven Ideen, einer ehrlichen Meinung, Engagement und guter Laune und beteiligte sich lebhaft an der Diskussion mit den anderen Mitgliedern des Beirats. Es war ihm stets ein Anliegen, dass auch die Leistungen von Nachwuchswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern gewürdigt werden. Auch außerhalb der offiziellen Sitzungen hatte er für Rückfragen immer ein offenes Ohr und stand dem Redaktionsteam mit Rat und Tat zur Seite.

Tom Schanz wird uns mit seiner fröhlichen, offenen Art und seinen hilfreichen Beiträgen im Beirat fehlen.

55–60 %

In 55 bis 60 Prozent der Fälle stellt sich im deutschen Binnenland in den Wochen nach dem Siebenschläfertag eine ähnliche Großwetterlage ein wie am Siebenschläfertag selbst.

Quelle: Deutscher Wetterdienst

Anders als weithin geglaubt hat der Siebenschläfertag nichts mit dem Tier zu tun. Der Name leitet sich von der Heiligenlegende der Sieben Schläfer ab, die – lebendig eingemauert in eine Höhle – jahrhundertelang schliefen, ohne zu sterben. Der irrtümliche Bezug zum Siebenfschläfertier könnte durch den US-amerikanischen Murmeltiertag zustande kommen, an dem tatsächlich ein Murmeltier die verbleibende Dauer des Winters vorhersagen soll.

Wetter

KÖNNEN WIR DEM **SIEBEN-SCHLÄFER** TRAUEN?

Wenn es am 27. Juni regnet, ahnen viele, dass sie den Regenschirm im Sommer nicht mehr wegzupacken brauchen.

An Bauernregeln ist oft etwas dran. Aber wie schlecht stehen unsere Chancen auf gutes Sommerwetter wirklich, wenn es am Siebenschläfertag regnet? Im Volksglauben heißt es, dass der 27. Juni darüber entscheidet, wie das Wetter in den folgenden sieben Wochen sein wird.
„Allerdings geht es dabei nicht um Regen oder Sonne in einem lokalen Bereich, sondern um die Großwetterlage", erklärt Malte Fliegner vom RUB-Lehrstuhl für Klimatologie. „Außerdem müsste der Siebenschläfertag eigentlich am 8. Juli sein und nicht am 27. Juni, weil die Reform zum gregorianischen Kalender im 16. Jahrhundert eine Verschiebung um elf Tage mit sich gebracht hat."

Jetstream kann Wetter wochenlang beeinflussen

Generell, so Fliegner, sollte man für eine Siebenschläferprognose nicht nur einen einzelnen Tag betrachten, sondern den gesamten Zeitraum von Ende Juni bis Anfang Juli. „Die Großwetterlage zu dieser Zeit kann in der Tat zu einem gewissen Grad Informationen über die Wetterverhältnisse des weiteren Sommers, vorwiegend in Mitteleuropa, liefern, etwa ob es eher wechselhaft, regnerisch oder sonnig sein wird", so der Klimatologe. Ursache für das Siebenschläferphänomen ist der Jetstream, ein starkes Windband in den höheren Luftschichten der Atmosphäre. Verläuft der Jetstream im Westen Europas recht weit südlich, ist der Unterschied im Luftdruck zwischen dem Islandtief im Norden und dem Azorenhoch im Süden durchschnittlich höher, als wenn der Jetstream weiter nördlich verläuft. Ein relativ großer Luftdruckunterschied bewirkt eine lange Zufuhr von kalten und feuchten Luftmassen aus dem Nordost-Atlantik und somit unbeständigeres Wetter. Anders sieht es aus, wenn der Jetstream weiter nördlich verläuft. Dann kann sich das Azorenhoch vom Süden her aufbauen und für eine stabile Hochdrucklage sorgen. Tiefdruckgebiete, die regnerisches Wetter mitbringen, werden nach Norden abgelenkt.

Moderne Vorhersagen präziser

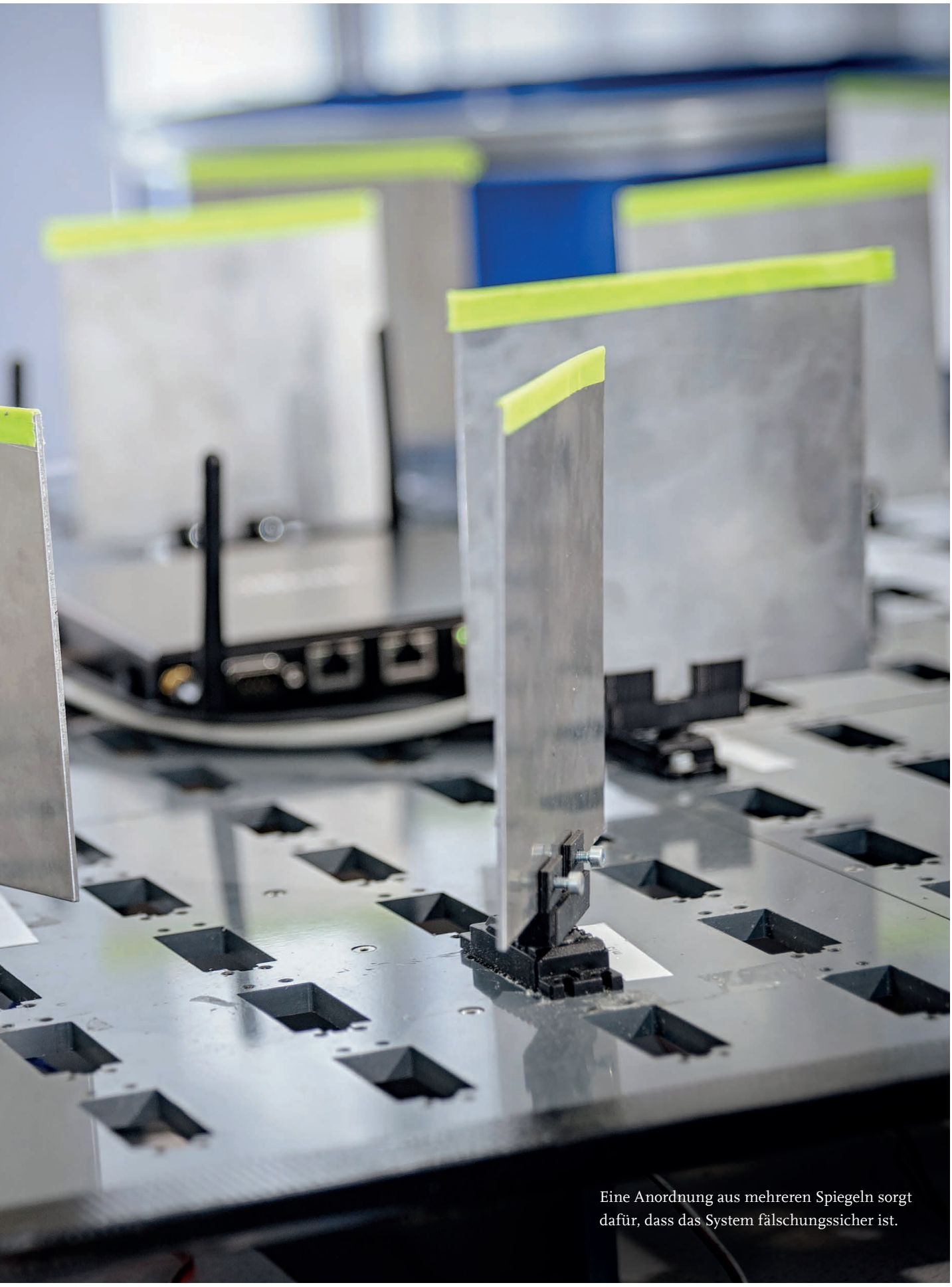
„Der Jetstream beeinflusst eigentlich das ganze Jahr über die Großwetterlage Europas, nicht nur zur Zeit des Siebenschläfers", sagt Fliegner. „Aber die Wahrscheinlichkeit, dass die Bauernregel stimmt, scheint rund um den Siebenschläfer höher zu sein als sonst." Computerbasierte moderne Vorhersagemethoden sind allerdings wesentlich präziser.

jwe

IT-Sicherheit

ATOMSPRENGKÖPFE ZÄHLEN, OHNE HINZUSCHAUEN

Diese Technik könnte eines Tages helfen zu überprüfen, ob Staaten sich an Abrüstungsverträge halten.



Eine Anordnung aus mehreren Spiegeln sorgt dafür, dass das System fälschungssicher ist.

Das Bochumer Projektteam: Ulrich Rührmair, Christian Zenger und Christof Paar (von links)

Auch wenn der Kalte Krieg lang vorbei ist, gibt es Schätzungen zufolge heute immer noch 14.550 Atomsprengköpfe auf der Welt. Das ist zwar deutlich weniger als auf dem Gipfel der atomaren Aufrüstung, als fast fünfmal so viele Nuklearwaffen existierten, aber dafür sind moderne Systeme bis zu 1.000-fach zerstörerischer als die Bombe von Hiroshima.

Experten unterscheiden zwischen einsatzbereiten Waffen, die auf Interkontinentalraketen oder Bombern montiert sind und schnell abgefeuert werden können, und solchen, die in Silos oder Containern lagern. Die Zahl von Letzteren zu kontrollieren, ist eine Herausforderung. Hierbei könnte künftig eine Technik helfen, die Forscher vom Horst-Görtz-Institut für IT-Sicherheit (HGI) in Bochum entwickeln.

Nach Schätzungen der Federation of American Scientists besaßen die USA und Russland im Jahr 2017 jeweils rund 1.700 einsatzbereite Nuklearwaffen mit hoher Reichweite, wobei genaue Informationen aufgrund der strengen Geheimhaltung nicht verfügbar sind. Bei der Anzahl der Waffen ist das Gleichgewicht zwischen den zwei Supermächten entscheidend. Um dieses zu wahren und sich auf Abrüstungsverträge einigen zu können, ist es wichtig, dass beide Seiten wissen, ob sich die jeweils andere an Abmachungen hält. „Bei der Kontrolle von Atomwaffen gibt es viele technische Probleme, die man als Laie zunächst nicht ahnt“, erzählen die Bochumer Forscher. Denn etwas zu kontrollieren, das streng geheim ist, ist nicht trivial. Auf der einen Seite sollen Nuklearwaffen inspiziert werden, weil die Gegenseite zum Beispiel wissen möchte, ob ein Staat nicht heimlich Sprengköpfe aus dem Lager in Einsatzbereitschaft versetzt. Auf der anderen Seite soll so wenig Information wie möglich über die Atombomben bekannt werden. Für die Kontrolle muss also im Grunde etwas gezählt werden, das niemand sehen soll.

Hier setzt ein Projekt an, das ursprünglich zwischen HGI-Forscher Dr. Dr. Ulrich Rührmair und der Princeton University entstanden ist und an dem in der Zwischenzeit auch Dr. Christian Zenger und Prof. Dr. Christof Paar vom HGI sowie die Harvard University eng beteiligt sind. Das internationale Team hat eine Technik entwickelt, die lagernde Atomwaffen überwachen kann, ohne geheime Informationen über diese Waffen preiszugeben und ohne Vertrauen in die Hardware vor Ort haben zu müssen. „Dabei dürfen wir nur die Oberfläche der Transportcontainer der Waffen betrachten, also kein Röntgenbild oder die radioaktive Signatur der Bombe aufzeichnen, weil das etwas über die Zusammensetzung und die Konstruktion verraten würde“, erklärt Christian Zenger. „Es ist auch zwecklos, Kameras im Silo aufzuhängen, da deren Hardware kompromittiert und somit die Bilder einfach manipuliert werden könnten.“ Trotzdem soll feststellbar sein, ob sich in dem Lager etwas ändert, zum Beispiel heimlich ein Nuklearsprengkopf entfernt wird.

Die Idee der Forscher basiert zum einen auf den sogenannten Virtual Proofs of Reality, einem Konzept, das Rührmair mit Kollegen 2015 vorschlug. Zum anderen sind sogenannte Physical-Layer-Security-Ansätze entscheidend, mit denen sich Christian Zenger bereits seit 2012 intensiv beschäftigt. Was es mit den Virtual Proofs of Reality auf sich hat, erklärt Ulrich Rührmair: „Wir haben uns Gedanken gemacht, wie

In einem Container an der RUB testen die Forscher die Sicherheit der Technik mit Atomwaffenattrappen.

man eine physikalische Aussage zwischen zwei Parteien an unterschiedlichen Orten über einen digitalen Kommunikationskanal beweisen kann.“ Zum Beispiel, wie eine Person in Berlin einer Person in Bochum beweisen kann, dass die Temperatur in der Hauptstadt gerade 21 Grad Celsius beträgt. Das Konzept funktioniert aber auch für wesentlich komplexere physikalische Aussagen als die aktuelle Temperatur, etwa wenn es darum geht, wo welche Gegenstände sich in einem Raum befinden. Beispielsweise Atomwaffen in einem Lager. Um Veränderungen in einem solchen Lagerraum feststellen zu können, nutzen die Forscher elektromagnetische Wellen im Radiobereich. Diese werden über eine Antenne ausgestrahlt und breiten sich in dem Raum aus. Dabei werden sie von Wänden und Gegenständen reflektiert. Eine Antenne ▸

Anzeige

Das tut nix mehr.
Dank Leuten wie Ihnen.

Wir suchen IT-Sicherheitsexperten. Für unsere spannenden Kunden – darunter Unternehmen, Behörden und internationale Organisationen – definieren wir seit 20 Jahren den Standard im kryptografischen Bereich. Unsere IT-Sicherheitslösungen sind führend – und genau solche Leute suchen wir. Ob Junior oder Senior: Was zählt, ist Ihre Begeisterung. Und Ihre Eigenschaft, erst dann zufrieden zu sein, wenn es wirklich perfekt ist.

Wir freuen uns auf Ihre Bewerbung.
www.secunet.com/karriere

secunet
IT-Sicherheitspartner der Bundesrepublik Deutschland

fängt die zurückkommenden Wellen wieder auf. So erstellen die IT-Experten eine Art Radiowellenkarte des Raums. Jede Veränderung – etwa wenn ein Sprengkopf aus dem Lager entfernt würde – würde das Reflexionsmuster ändern und könnte so detektiert werden.

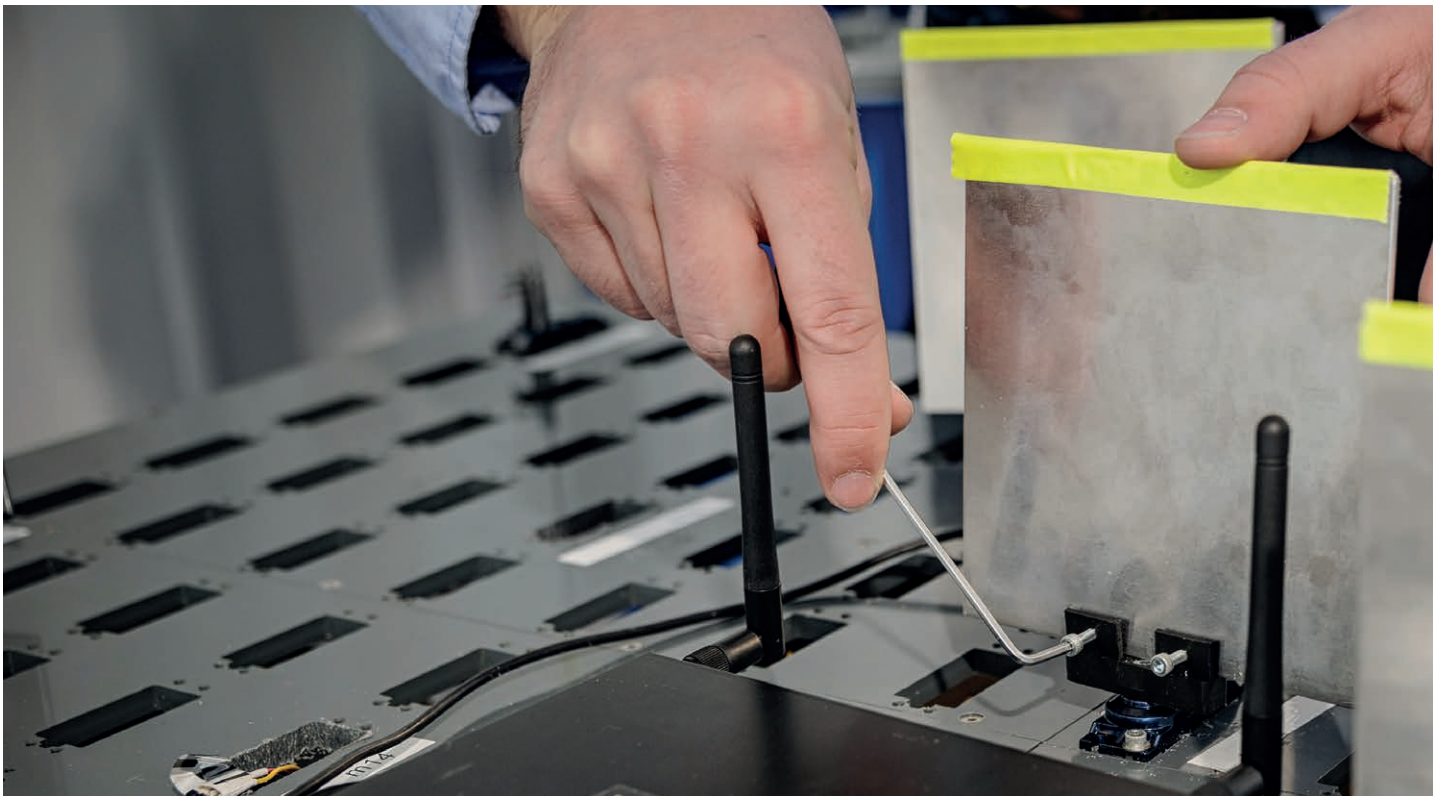
In der praktischen Anwendung könnte das wie folgt laufen: Staat A möchte wissen, ob die Nuklearwaffen von Staat B wie vereinbart gelagert und nicht einsatzbereit sind. Die beiden Staaten müssten sich darauf einigen, das Überwachungssystem in den Lagerräumen zu installieren. Staat A könnte dann über das Internet die aktuelle Radiowellenkarte des Lagerraums von Staat B anfordern.

Fälschungen vorbeugen

Allerdings braucht das System noch eine weitere Komponente, um fälschungssicher zu sein. „Wir müssen verhindern, dass Staat B eine Radiowellenkarte von einem voll bestückten Atomwaffenlager erstellt, speichert und dann immer wieder an Staat A schickt, obwohl längst Waffen aus dem Lager entfernt wurden“, erklärt Ulrich Rührmair. Dafür haben die Forscher eine sogenannte Challenge in das System eingebaut. Zusätzlich zu den Sendern und Empfängern für die Radiowellen werden in dem zu kontrollierenden Raum 20 drehbare Spiegel installiert, die sich ferngesteuert ausrichten lassen. Die Spiegel reflektieren die Radiowellen und ändern so das Reflexionsmuster des Raums, wobei jede Spiegelstellung ein individuelles Muster erzeugt. Vor jeder Abfrage der Radiowellenkarte würde Staat A die Spiegel in eine bestimmte Anordnung drehen. Als Antwort müsste Staat B die Radiowellenkarte des Raums mit exakt dieser Spiegelanordnung schicken. Um an das korrekte Reflexionsmuster heranzukommen, muss Staat B den Raum mit der aktuellen Spiegelstellung vermessen – eventuell gespeicherte Radiowellenkarten von früher wären nicht mehr gültig. Damit Staat A die Antwort auf Richtigkeit prüfen kann, müsste er bei Inbetriebnahme der Technik die Reflexionsmuster des Raums für eine bestimmte Anzahl verschiedener Spiegelstellungen gemessen und gespeichert haben. Aus diesem Pool von Spiegelstellungen könnte Staat A dann bei jeder neuen Abfrage eine Anordnung auswählen. Schickt Staat B das richtige Reflexionsmuster als Antwort, weiß Staat A, dass der Raum neu vermessen wurde und ob er unverändert geblieben ist.

Mit 20 Spiegeln können die Forscher zurzeit 2^{100} verschiedene Reflexionsräume erzeugen; es gibt mit diesem Setting also Milliarden Trilliarden verschiedene Kombinationen von Spiegelstellungen. Eine Herausforderung dabei ist, dass der überwachte Staat nicht im Lauf der Zeit lernen darf, die nächste Spiegelstellung vorherzusagen. „Es könnte ja sein, dass er nach einer Milliarde verschiedener Spiegelstellungen, die er als Challenge bekommen hat, einen Algorithmus findet, mit der er die nächste Spiegelstellung vorhersagen kann“, so Christof Paar. Dann könnte er die erforderliche Radiowellenkarte eventuell selbst erzeugen, ohne den Raum neu vermessen zu haben – und sich in der Zwischenzeit unbemerkt an dem Atomwaffenlager zu schaffen machen. Um das zu verhindern, nutzen die Bochumer IT-Experten ein nicht vorhersagbares kryptografisches Protokoll, um die Spiegel einzustellen. „Wichtig ist unter anderem, dass der Zusammenhang zwischen der Challenge und der Antwort darauf nicht durch ein lineares Gleichungssystem eindeutig beschrieben werden kann“, sagt Christian Zenger, „weil die mathematisch relativ leicht zu durchschauen sind.“ Gleiches gilt für die Physik, also für die Spiegelmaterialien, deren Reflexionseigenschaften nicht linear sein sollten.

Mit dem Verfahren lässt sich prinzipiell jeder beliebige Raum überwachen, zum Beispiel auch ein Tresor oder Geldautomat.



Auf dem Campus der Ruhr-Universität Bochum haben die Wissenschaftler mittlerweile einen Container mit Sprengkopfattrappen und Spiegeln aufgebaut und testen dort die Sicherheit des Physical-Layer-Security-Protokolls im Realbetrieb. Sie untersuchen auch, wie sich die Reflexionsmuster verhalten, wenn sie Veränderungen im Raum vornehmen, zum Beispiel die Attrappen verschieben oder entfernen. Außerdem passen sie ihre Algorithmen an die Raumgröße an.

Tests in der Butterbrotdose

Die ersten Tests führte das RUB-Team in einem sehr kleinen System durch: in einer Butterbrotdose. Damit zeigten sie die Präzision ihrer Messtechnik: Wenn sie einen Gegenstand in der Dose um 0,4 Mikrometer bewegten, konnte das System das immer noch feststellen. So genau muss das Verfahren im Einsatz vielleicht gar nicht sein. „Denn", so Paar, „in dem Kontext darf es natürlich keinen falschen Alarm geben." Daher muss das System möglichst robust sein. Gewisse Messungenauigkeiten müssen die Forscher einkalkulieren, da zum Beispiel die Spiegelstellung nicht beliebig genau kontrolliert werden kann. An all diesen Detailfragen feilt das Team der Ruhr-Universität derzeit.

Mit dem Verfahren, das eines Tages zur Kontrolle der atomaren Abrüstung beitragen könnte, lässt sich prinzipiell jeder beliebige Raum überwachen, zum Beispiel ein Tresor oder Geldautomat. Das 2015 aus dem HGI hervorgegangene Startup Physec macht die Technik auch für andere Anwendungen nutzbar und ist eng in das Projekt mit der Princeton und Harvard University involviert.

Text: jwe, Fotos: rs

DIE EINZIGARTIGE **TAPETE**

So könnte das System zur Atomwaffenkontrolle erweitert werden.

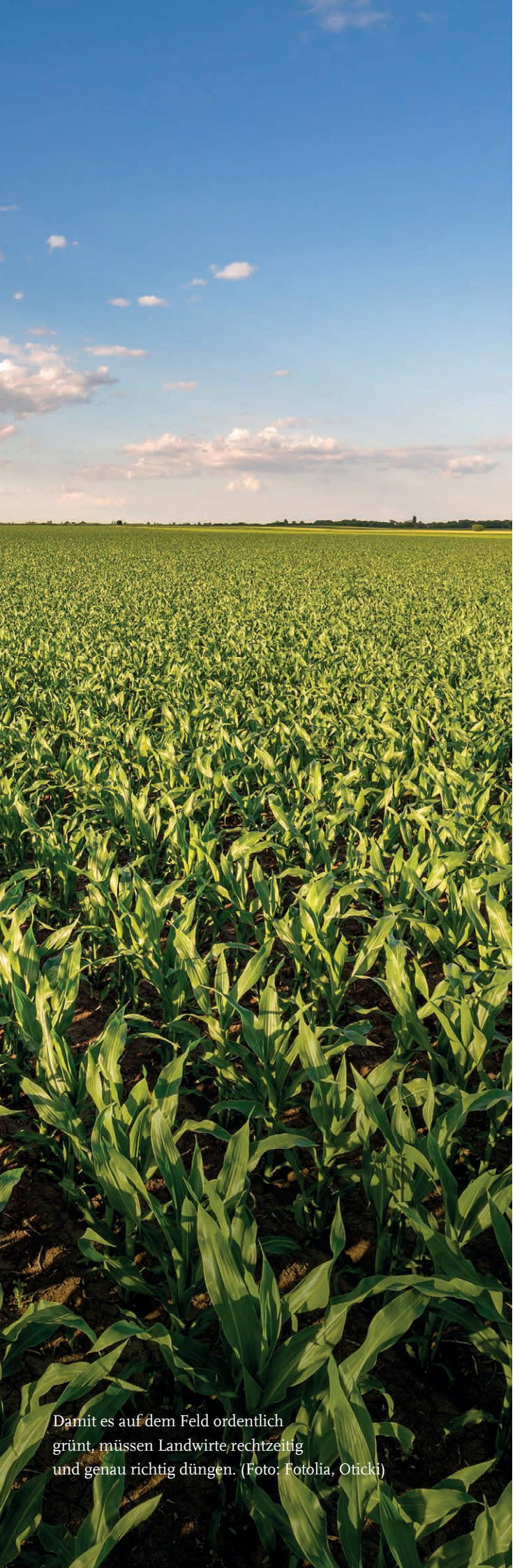
Die Bochumer Forscher tüfteln an einem weiteren Zusatz für ihr System zur Atomwaffenkontrolle. Denn ein Knackpunkt ist, dass Staat A zu Beginn des Verfahrens einmal eine gewisse Anzahl von Spiegelstellungen aufzeichnen muss, um die Antworten von Staat B überprüfen zu können. Staat B wünscht aber nicht, dass Staat A mit eigenem Messequipment in seinem Atomwaffenlager hantiert und eventuell geheime Informationen mit aufzeichnet. Staat A würde allerdings auch nicht dem Messequipment von Staat B vertrauen. Das führt zu einer Pattsituation.

Die Idee: Beide Staaten bauen identische Räume mit einer identischen Anordnung von Nuklearwaffenbehältern. Staat A erstellt ein hochkomplexes und nicht klonbares Objekt, eine Art Tapete, die die Radiowellen auf einzigartige Weise reflektiert und nicht duplizierbar ist. Staat A hängt die Tapete an eine definierte Stelle im eigenen Raum, zeichnet eine Reihe von Reflexionsmustern bei bestimmten Spiegelstellungen auf und schickt die Tapete dann an Staat B. Dieser hängt sie an der gleichen Stelle in seinem zu kontrollierenden Raum auf und schickt fortan regelmäßig das Reflexionsmuster des Raums an Staat A. Staat B kann nur dann korrekt auf die Challenge von Staat A antworten, wenn er die einzigartige Tapete wirklich aufgehängt hat. Ob das der Fall ist, könnte Staat A bei einer Vor-Ort-Inspektion überprüfen, bei der ein Blick in den Raum – ohne unerlaubtes Messequipment – genügen würde. Da die Tapete nicht klonbar ist, wäre gewährleistet, dass Staat B die Messungen wirklich in dem zu kontrollierenden Lager durchführt und nicht eine zweite Tapete in einem anderen Raum aufgehängt hat, der nur Atomwaffenattrappen enthält. Ob dieses Szenario mit der erforderlichen Präzision und Robustheit umsetzbar ist, wollen die Forscher künftig testen.

jwe

Chemie

DÜNGEN ODER NICHT DÜNGEN – KEINE FRAGE



Damit es auf dem Feld ordentlich grünt, müssen Landwirte rechtzeitig und genau richtig düngen. (Foto: Fotolia, Oticki)

Binnen einer Minute könnten Landwirte messen, ob ihr Feld Dünger braucht und wenn ja welchen.

Brauchen die Feldpflanzen Dünger? Diese Frage treibt Landwirte um, vor allem in Phasen, in denen ihre Pflanzen stark wachsen. Fehlt es dem Boden des Feldes an Nährstoffen wie Nitrat oder Phosphat, sinkt der Ertrag. Viele Landwirte düngen daher mehr als nötig, um nur ja keinen Mangel aufkommen zu lassen. Eine Überdüngung ist die Folge, unter der die Umwelt und das Trinkwasser leiden. Denn nicht aufgenommene Düngemittel werden mit dem Regen ausgeschwemmt und verunreinigen das Wasser. Um zielgerichteter zu düngen, werten manche Landwirte den Grünton der Pflanzenblätter aus. Dafür gibt es sogar Tabellen und Apps, die teils von der Düngemittelindustrie zur Verfügung gestellt werden. „Aber das Grün einer Pflanze sagt eigentlich nicht viel aus. Ist eine Pflanze zu wenig grün, kann das ein Symptom für alles Mögliche sein, unter anderem für Wassermangel“, erklärt Prof. Dr. Nicolas Plumeré, Leiter der Arbeitsgruppe „Molekulare Nanostrukturen“ am Zentrum für Elektrochemie der RUB und Mitglied im Exzellenzcluster Ruhr explores Solvation, kurz Resolv.

Einfacher Test, schnelles Ergebnis

Seit 15 Jahren beschäftigt sich Nicolas Plumeré mit Möglichkeiten, wie Landwirte gleich auf dem Feld feststellen können, ob und woran es ihren Pflanzen fehlt. „Man kann das natürlich durch Labortests herausfinden“, sagt er. Nur ist das teuer und dauert rund eine Woche – möglicherweise ist es dann schon zu spät zum Düngen, weil Pflanzen in der Wachstumsphase viele Nährstoffe brauchen. Die Labortests sind aufwendig: Die Proben müssen vorbereitet werden, die Temperatur muss genau geregelt sein, der Luftsauerstoff muss bei der Messung ferngehalten werden, die Verdünnung muss immer exakt gleich sein, damit ganz genaue Ergebnisse herauskommen.

Die Forscher aus Plumerés Arbeitsgruppe gehen einen anderen Weg: Sie fragten sich, ob nicht statt ausgebildeter Techniker im Labor auch die Landwirte selbst Messungen direkt auf dem Feld vornehmen könnten. Um das zu ermöglichen, setzten sie andere Prioritäten: Hauptsache, der Landwirt kann beim Test nichts falsch machen und das Messergebnis für einen Nährstoff sofort ablesen. Die Genauigkeit der Messung steht erst an nachrangiger Stelle, denn darum geht es dem Landwirt nicht. Er will nur wissen, welche Art von Dünger in welcher Menge er wann auf sein Feld ausbringen muss, um zu einem optimalen Ertrag zu kommen.

Das Team entwickelte einen Test für Nitrat, der ähnlich funktioniert wie die Blutzuckermessung bei Diabetes: Ein Tropfen Pflanzensaft wird aus einem Blatt herausgepresst und auf einen Teststreifen gegeben. Dieser Streifen wird in ein Messgerät gesteckt, das mit dem Smartphone des Land- ▸

Tobias Vöpel (links) und Nicolas Plumeré werden vom European Research Council mit einem Proof-of-Concept-Grant gefördert, um den Nitratsensor marktreif zu machen. (Foto: dg)

> „KEINER VERLÄSST SICH GERNE NUR AUF SEIN GEFÜHL.“
>
> *Nicolas Plumeré*

Der Chip nimmt eine genau definierte Menge Flüssigkeit auf. Er ist kleiner als eine Euromünze und soll auch weniger kosten. (Foto: dg)

wirts in Verbindung steht. Kurze Zeit später kann er in einer App ablesen, wie gedüngt werden muss. In dem Teststreifen, der kleiner als ein Eurostück ist und auch weniger kosten soll, verbirgt sich dennoch ein kleines Labor. Das Messvolumen umfasst wenige Mikroliter Pflanzenflüssigkeit. Herzstück des Streifens ist ein Pflanzenprotein, das Nitrat umwandelt, die sogenannte Nitratreduktase. Sie fügt jedem Nitrat ein Elektron hinzu. Der Test beginnt, sobald der Landwirt den Teststreifen ins Messgerät eingelegt hat und somit Elektronen zur Verfügung stehen. Er ist beendet, wenn das gesamte Nitrat der Probe mit Elektronen versehen ist und keine Elektronen mehr fließen. Indem man zählt, wie viele Elektronen geflossen sind, kann man auf die Anzahl der Nitratmoleküle in der Probe zurückschließen. „Im Normalfall ist das Messergebnis innerhalb von etwa einer Minute da, und der Landwirt erhält seine Empfehlung, ob er Nitrat zufügen sollte oder nicht“, erklärt Dr. Tobias Vöpel aus der Arbeitsgruppe.

Der Vorteil der Nitratreduktase ist, dass sie ausschließlich mit Nitrat reagiert, also für alles andere unempfindlich ist. Die Reaktion muss allerdings ohne Kontakt zur Umgebungsluft stattfinden, weil sonst das Enzym die Elektronen, die für das Nitrat bestimmt sind, auf den Sauerstoff überträgt, was die Messung verfälschen würde. Daher ist der Teststreifen zusätzlich mit einem weiteren Enzym ausgestattet, das dafür sorgt, Sauerstoff aus der Umgebungsluft unschädlich zu machen.

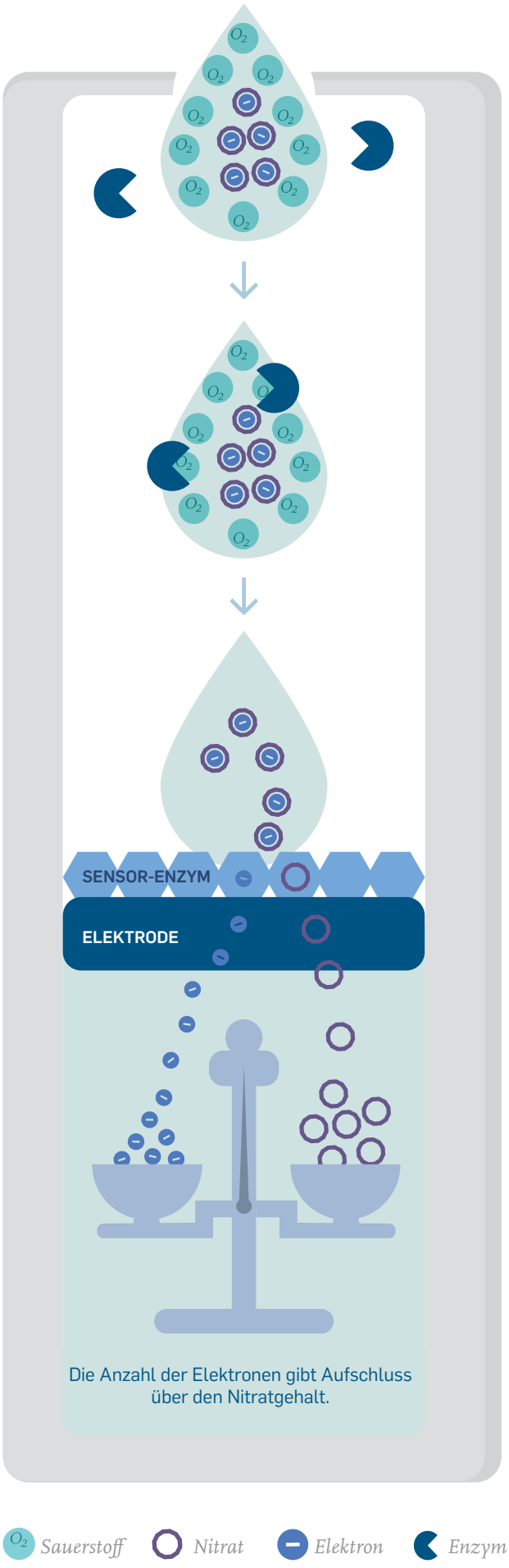
Das Design des Chips auf dem Teststreifen übermittelten die Forscher an eine Firma, die solche Chips schichtweise druckt. Auf eine Trägerschicht aus Kohlenstoff und eine Goldelektrode wird eine Lage eines speziellen Polymers aufgebracht, das als Schnittstelle zwischen dem Metall und der Nitratreduktase dient, die darauf liegt. Dann kann der Sensor mit Pflanzensaft befüllt werden, ohne dass der Landwirt die Probe genau abmessen oder verdünnen muss. Dadurch können auch untrainierte Nutzer einfach präzise Messungen machen. Chemiker, Biochemiker und Ingenieure waren an der Entwicklung des Miniatur-Hightech-Labors beteiligt.

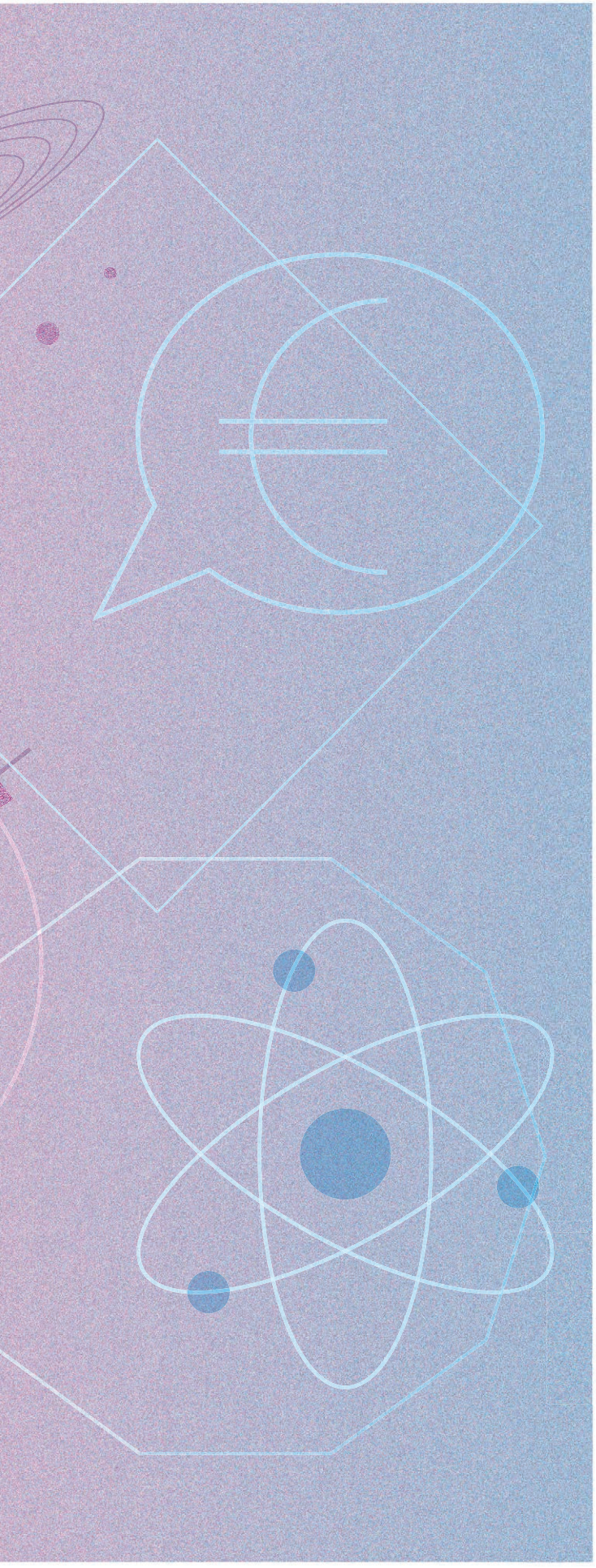
Nitratlandkarten für ganze Regionen

Der Nitratsensor wird ab 2018 in einem Proof-of-Concept-Projekt des European Research Council marktreif gemacht. Sein Nutzen geht über die Düngeempfehlung für den Einzelnen hinaus: Durch die Übermittlung der von vielen Landwirten gemessenen Daten in die Cloud lassen sich Nitratlandkarten für ganze Regionen erstellen. Die Verknüpfung mit Wetter- und Satellitendaten ist möglich, sodass Vorhersagen für den Nitratbedarf gemacht werden könnten, von denen Landwirte durch eine App auf ihrem Smartphone profitieren können. Verschiedene Industriepartner sind schon an Bord.

Künftig wollen die Forscher Messungen verschiedener Nährstoffe in einem Sensor kombinieren. „Denn es kommt beim Düngen vor allem auf die richtige Mischung der Düngemittel an“, erklärt Nicolas Plumeré. Die Landwirte, so hat er bei Feldversuchen erfahren, haben auf eine solche Unterstützung gewartet. „Keiner verlässt sich gerne nur auf sein Gefühl.“

md





GRENZEN DER WISSENSCHAFT

Wo stößt Wissenschaft an technische Grenzen? Wo an ethische? Welche Schnittstellen ergeben sich zur Gesellschaft? Und was ist überhaupt eine Wissenschaft und was nicht?

Theologie

DER **STREIT** UM **GOTT**

Die Disziplin ist an zahlreichen Universitäten verankert, aber längst nicht von jedem akzeptiert.

Die Positionen bei der Frage, ob die Theologie eine Wissenschaft ist, könnten weiter nicht auseinander sein. „Für die einen ist völlig klar, dass es eine Wissenschaft ist, für die anderen völlig klar, dass es keine ist“, sagt Prof. Dr. Dr. Benedikt Göcke. Er leitet an der RUB die Nachwuchsforschergruppe „Theologie als Wissenschaft?!“ am Lehrstuhl für Philosophisch-Theologische Grenzfragen. Mit seinem Team hat er Argumente von Kritikern zusammengetragen, die die Wissenschaftlichkeit der Theologie infrage stellen, und ist dabei, diese Argumente zu analysieren.

„Das Thema an sich ist nichts Neues“, sagt Göcke. Allerdings, so findet der Theologe und Philosoph, hätte die Diskussion im deutschsprachigen Raum die angelsächsische noch nicht genug beachtet. „Es gibt in dieser Diskussion gute Argumente dafür, dass die Theologie eine Wissenschaft ist. Sie wurden bisher aber kaum rezipiert und könnten die deutsche Debatte wunderbar ergänzen“, erklärt er. Daher will er das Thema systematisch aufarbeiten.

Göcke teilt die Argumente gegen die Wissenschaftlichkeit der Theologie in drei Kategorien ein: Die erste Kategorie umfasst scheinbar naturwissenschaftlich gestützte Argumente; die zweite versammelt Argumente, die beispielsweise eine klare Definition von Begriffen als Ideal der Wissenschaft propagieren; die dritte Art von Argumenten zielt darauf ab, dass die Theologie gegenstandslos sei, weil es das Forschungsobjekt Gott gar nicht gebe.

„Für letztere Kategorie wird zum Beispiel das Übel in der Welt als Argument angeführt“, schildert Benedikt Göcke. Der Gedanke: Eine allmächtige, allwissende und moralisch vollkommene Person würde kein Leid zulassen. Also kann es keinen Gott geben. Dieses Argument hält der Bochumer Forscher jedoch nicht für letztgültig. „Es setzt zum einen voraus, dass Gott im Wortsinn eine allmächtige, allwissende und moralisch vollkommene Person ist. Dementgegen ist das Gottesbild der Theologie doch weitaus komplexer und nimmt Rücksicht auf die philosophischen Schwierigkeiten, die eine solche Rede von Gott mit sich bringt“, sagt er. „Zum anderen lässt es außer Acht, dass Gott den Menschen als freien Menschen geschaffen hat, und damit keine andere Möglichkeit hat, als das Risiko einzugehen, dass diese Menschen ihre Freiheit zum Bösen verwenden.“

Ein Argument aus der zweiten Kategorie knüpft genau daran an: Es gebe keine einheitliche Definition für den Gottesbegriff. Kritiker meinen jedoch, dass die grundlegenden Begriffe einer Wissenschaft klar und für alle verständlich definiert sein müssen. „Es wird oft gesagt, ein Physiker definiere, was ein Elektron ist, ein Biologe, was eine Zelle ist, und so weiter“, veranschaulicht Göcke. „Aber für den Begriff Gottes gibt es in der Diskussion vielleicht so viele Definitionen, wie es Theologen gibt.“

Der Wissenschaftstheoretiker verweist jedoch darauf, dass auch in anderen Disziplinen nicht alle Begriffe von Anfang an klar beschrieben waren. „Selbst nicht in der Physik, die oft als Prototyp der Wissenschaft gilt“, so Göcke. „Die Begriffe Materie, Energie und Atom wurden in verschiedenen naturwissenschaftlichen Theorien ganz unterschiedlich verwendet. Erst im Lauf der Zeit setzten sich bestimmte Interpretationen durch, und auch diese können sich jederzeit wieder ändern.“

Auch den naturalistischen Argumenten weiß Benedikt Göcke etwas entgegenzusetzen. Ein Beispiel: Viele theologische Theorien gehen davon aus, dass Gott in der Welt handeln kann, also Wunder wirken kann. Naturalisten hingegen beschreiben das Universum als kausal geschlossenen Raum, in den von außen nichts eindringen kann. Jedes physikalische Ereignis muss eine physikalische Ursache haben, für Übernatürliches ist in dieser naturalistischen Theorie kein Platz. „Die Annahme, dass das Universum kausal in sich geschlossen ist, ist jedoch keine naturwissenschaftliche Erkenntnis“, analysiert Benedikt Göcke. „Es ist auch keine notwendige Bedingung für die naturwissenschaftliche Forschung.“ Vielmehr handle es sich dabei um nichts weiter als eine metaphysische Annahme aus der Perspektive eines Naturalisten. „Ein Naturalist akzeptiert die Annahme, dass das Universum kausal geschlossen ist, aufgrund seiner Weltanschauung, so wie ein Theist aufgrund seines Weltbildes akzeptiert, dass es Gott gibt“, verdeutlicht der Wissenschaftler. Die naturalistische Position steht der theistischen also konträr gegenüber. „Aber die Theologie widerspricht deshalb nicht anderen wissenschaftlichen Erkenntnissen, sondern nur anderen metaphysischen Interpretationen dieser Erkenntnisse“, folgert der Philosoph.

Auf diese Weise lassen sich laut Göcke Argumente gegen die Wissenschaftlichkeit der Theologie entkräften. Für ihn ist das aber nur der erste Schritt. Mit seinem Team entwickelt er derzeit – unabhängig von der Theologie – ein Modell, das beschreibt, was unter einer Wissenschaft zu verstehen ist. Dabei beziehen sich die Wissenschaftler auf den von Imre Lakatos geprägten Begriff des Forschungsprogramms; er geht davon aus, dass Theorien nie isoliert betrachtet werden können, sondern nur als Teil größerer und zusammenhängender Theoriensysteme, der Forschungsprogramme, beurteilt werden können. Anhand des Modells wollen die Forscherinnen und Forscher dann später die Theologie und andere Wissenschaften auf den Prüfstand stellen.

„Heute würde kaum noch jemand die Ansicht vertreten, dass es genau vier, fünf Kriterien für Wissenschaftlichkeit gibt, die jede Wissenschaft – sei es nun eine Geistes- oder eine Naturwissenschaft – erfüllen muss“, gibt Göcke einen Ausblick. „Man versteht den Wissenschaftsbegriff eher als einen Clusterbegriff.“ Zwar gibt es bestimmte Aspekte, die allen Wissenschaften gemeinsam sind. „Aber der Begriff ist breit genug, um auch Unterschiede zwischen den Disziplinen zuzulassen“, so der Philosoph. Daher will er zeigen, dass die Theologie unter Bezug auf den Begriff des Forschungsprogramms als Wissenschaft verstanden werden kann.

Text: jwe, Foto: rs

Im Gespräch

„DIE FRAGE ERHITZT DIE GEMÜTER“

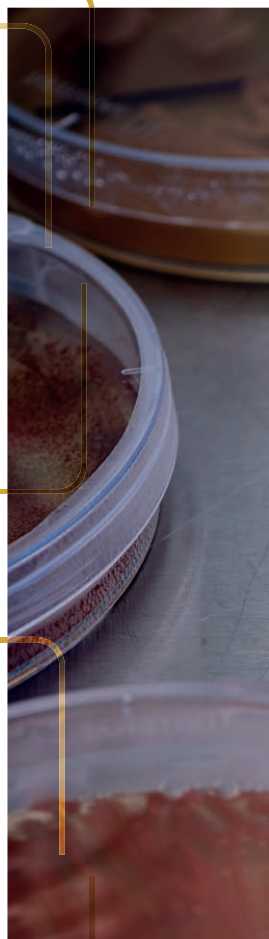
Ob die Lehre von Gott überhaupt eine Wissenschaft ist, untersucht Benedikt Göcke.

Herr Professor Göcke, was unterscheidet die Theologie von anderen Disziplinen?

Die Theologie ist eine Glaubenswissenschaft und macht bestimmte metaphysische Annahmen, nämlich dass es eine Offenbarung Gottes gab, die für den Menschen relevant ist. Im Hintergrund steht daher die Frage, wie wir Annahmen rechtfertigen können, die unseren Weltbildern zugrunde liegen. Das ist eine Frage, die nicht nur die Theologie betrifft, sondern alle wissenschaftlichen Forschungsprogramme (siehe „Der Streit um Gott“, Seite 24).

Wie sind Sie auf diese Forschungsfrage gekommen?

Die Motivation kommt aus meinem Studium der Philosophie und Theologie. In dieser Zeit wurde mir bewusst, dass es virulente Argumente gibt, der Theologie ihre Wissenschaftlichkeit abzusprechen: Beispielsweise hätte die Naturwissenschaft gezeigt, dass Gott nicht existiere, also sei das meiste, was die Theologie impliziere, falsch. Plötzlich sprach vieles dagegen, dass das, was ich studiere, sinnvoll ist. Das wollte ich mir genauer anschauen. Die Frage erhitzt die Gemüter, und die Positionen sind weit auseinander. Es gibt ja durchaus Leute, die die Theologie als Verschwendung von Steuergeldern bezeichnen. Da ist es umso wichtiger, dass man, am Stand der wissenschaftstheoretischen Forschung orientiert, die Wissenschaftlichkeit der Theologie untersucht – und die einzelnen theologischen Disziplinen verfügen über vielversprechende wissenschaftstheoretische Reflexionen.



Sie arbeiten an der Fakultät für Katholische Theologie. Können Sie sich ergebnisoffen mit der Frage auseinandersetzen?

Ich empfinde mich in diesem Projekt nicht als Theologe, sondern als Philosoph und Wissenschaftstheoretiker, der sich fragt, was Wissenschaft überhaupt ist, und dann schaue ich mir als Fallbeispiel die Theologie an. Ich habe natürlich eine Forschungshypothese, die lautet, dass die Argumente gegen die Wissenschaftlichkeit der Theologie nicht überzeugend sind. Aber entscheidend ist die Qualität der Argumente. Wenn in letzter Analyse die besseren Argumente gegen meine Hypothese sprechen, dann würde ich das auch genauso als Ergebnis wahrnehmen.

Kann man die Frage am Ende mit Ja oder Nein beantworten?

Ich glaube, man kann kaum eine philosophische Frage endgültig mit Ja oder Nein beantworten. Man kann sowohl mit „Ja, aber“ als auch mit „Nein, aber“ antworten. Man findet für beide Positionen gute Gründe, die man am Ende abwägen muss. Es wird kein Totschlagargument für das eine oder das andere geben.

Letztendlich ist es also eine Definitionsfrage.

Ich würde gerne mit „Nein, aber“ antworten. Definieren können wir in bestimmter Hinsicht ja, was wir wollen. Es gibt Denker wie den verstorbenen Philosophen Paul Feyerabend – das enfant terrible der Wissenschaftstheorie –, für den alles Wissenschaft ist, auch Astrologie und Kaffeesatzlesen, weil er nicht davon ausgeht, dass es eine klare Demarkationslinie zwischen Wissenschaft und Pseudo-Wissenschaft gibt. In der Wissenschaftstheorie selbst gibt es eine nicht abgeschlossene Debatte darüber, was Wissenschaft eigentlich ist. Im Projekt arbeiten wir mit dem von Imre Lakatos vorgeschlagenen Begriff des Forschungsprogramms. Das ist unserer Meinung nach ein guter Ansatz, um die verschiedenen Definitionen von Wissenschaft zu bündeln und Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den einzelnen Disziplinen zu erklären.

Ist es nicht unbefriedigend, keine abschließende Antwort auf die Frage finden zu können?

Das finde ich nicht. In anderen Wissenschaften findet man auch keine absoluten Antworten, oft widersprechen sich Forschungsergebnisse oder werden nach einigen Jahrzehnten revidiert. Das alte Modell, dass man die Natur einfach und unproblematisch ablesen kann, vertritt heute niemand mehr. Was man beobachtet, hängt ja beispielsweise von den Begriffen ab, die man mitbringt. Wenn man ein Doppelspaltexperiment macht und den Begriff des Elektrons nicht kennt, wird man nichts Erstaunliches sehen.

Mit unserer Forschung geben wir Gründe, eine bestimmte Ansicht einzunehmen. Damit ist meines Erachtens schon viel getan. Denn dann kann man in den Dialog mit anderen Personen treten.

Text: jwe, Fotos: rs

Naturwissenschaft und Theologie – ein Widerspruch?

Der Anschluss der Elektroden liegt außerhalb des Schädels und wird mit einem Prozessor verbunden, der den Roboterarm steuert.

Neurowissenschaft

ROBOTERARM MIT DEM GEHIRN BEWEGEN

In der virtuellen Welt untersuchen Forscher die Grundlagen für die Mensch-Maschine-Zusammenarbeit.

Für Patientinnen und Patienten, die nach einem Unfall oder einer Erkrankung halsabwärts gelähmt sind, wäre es ein ungeheurer Gewinn an Eigenständigkeit: ein Roboterarm, der sich steuern lässt wie ein eigenes Körperteil. Die Emmy-Noether-Nachwuchsforschergruppe von Dr. Christian Klaes arbeitet daran, diesen Traum wahr zu machen. „Einen solchen Arm darf man sich nicht vorstellen wie einen richtigen menschlichen Arm“, erklärt Klaes. „Er würde sich ein Stück entfernt vom Benutzer befinden, vielleicht befestigt an seinem Rollstuhl.“ Möglich wäre es zum Beispiel, bewährte Roboter aus der Industrie zu verwenden, die die notwendigen Freiheitsgrade haben, um auch feinmotorische Bewegungen auszuführen.

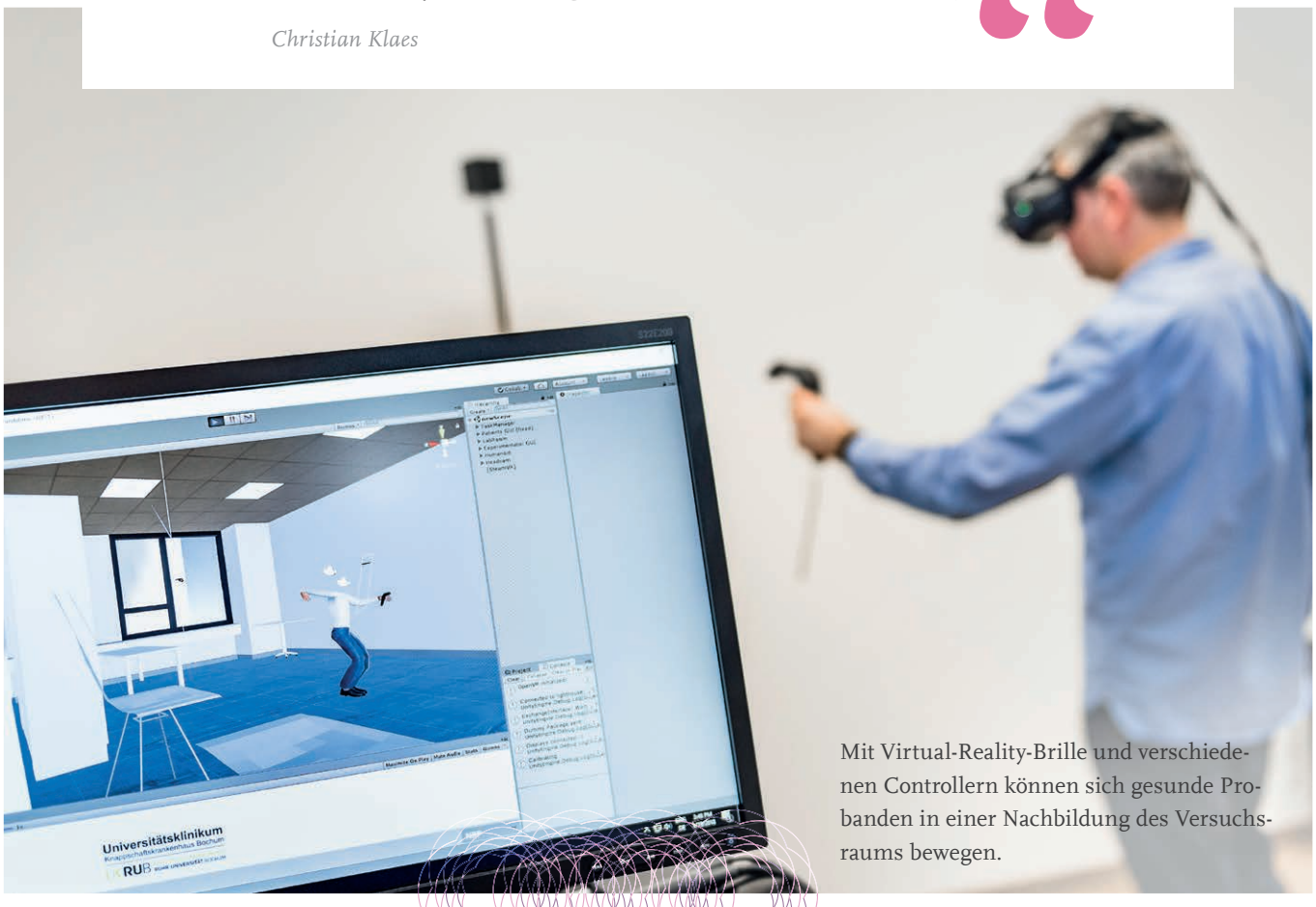
Die Impulse für solche Bewegungen, etwa das Heben einer Tasse zum Mund, würde der Arm direkt aus dem Gehirn des Patienten bekommen. Die Signale der beteiligten Nervenzellen kann man über kleine sogenannte Elektroden-Arrays ableiten, die den Patienten in die entsprechenden Gehirnbereiche implantiert werden. Diese elektronischen Bauteile sind vier mal vier Millimeter klein und die Elektroden etwa einen Millimeter lang. Ihr Anschluss liegt außerhalb des Schädels und wird mit einem Prozessor verbunden, der wiederum den Roboterarm steuert. Die Arrays wurden ursprünglich zur Stimulation der Netzhaut entwickelt.

„Bei gelähmten Patienten wäre es sinnvoll, drei solcher Arrays dauerhaft zu implantieren“, erklärt Christian Klaes. „Einen im Parietalkortex, einen im motorischen und einen im somatosensorischen Kortex.“ In diesen Gehirnbereichen passiert die Planung von Bewegungen, werden Bewegungen gesteuert und die Rückmeldungen der Nerven im Körper über Bewegungen und Berührungen verarbeitet.

Nachdem Klaes in den USA schon mit implantierten Patienten gearbeitet hat, warten er und sein Team noch darauf, dass die Europäische Union die Elektroden zum Steuern von Roboter- ▸

Christian Klaes leitet die Emmy-Noether-Nachwuchsforschergruppe, die an das RUB-Klinikum im Knappschaftskrankenhaus Langendreer angebunden ist.

> „DIESES JAHR WIRD DAS JAHR DER VIRTUAL REALITY.“
>
> *Christian Klaes*

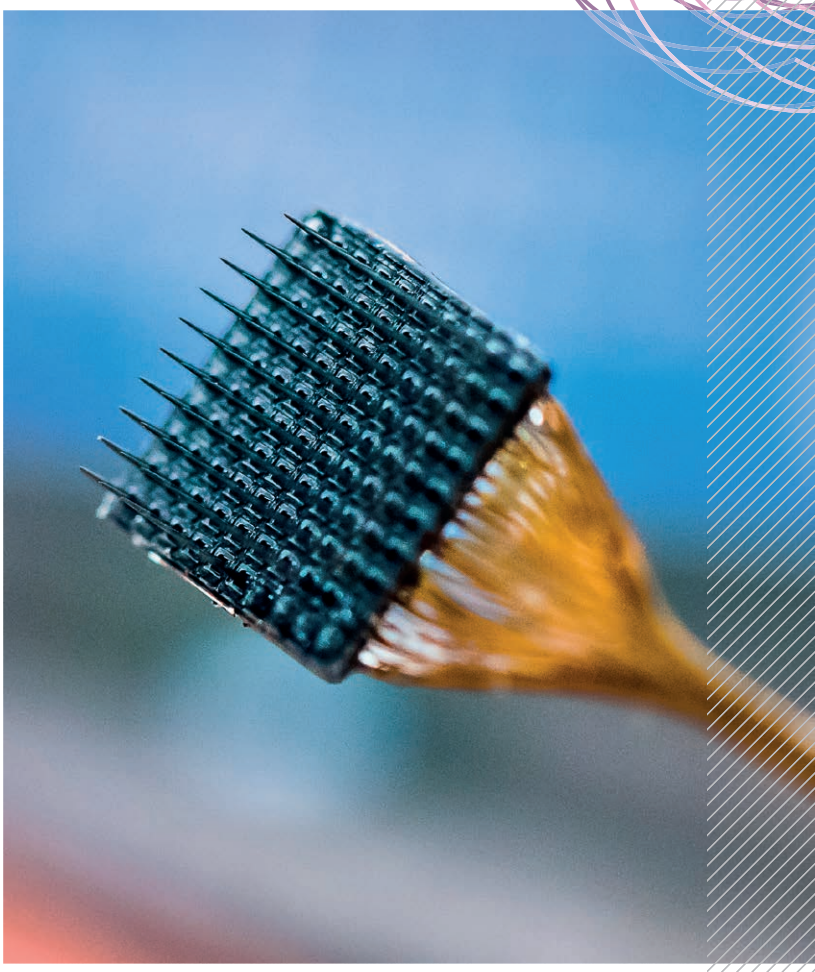


Mit Virtual-Reality-Brille und verschiedenen Controllern können sich gesunde Probanden in einer Nachbildung des Versuchsraums bewegen.

assistenzsystemen zertifiziert. Sobald es so weit ist, werden sie auf die Suche gehen nach Betroffenen, die sich zu Studienzwecken implantieren lassen.
Ein bis fünf Patienten können in die Studie aufgenommen werden. Eines der Kriterien ist eine Querschnittlähmung zwischen dem dritten und dem vierten Halswirbel. Nur dann fällt die Abwägung des Nutzens gegenüber dem Risiko positiv aus. Ihren Standort im Uniklinikum Knappschaftskrankenhaus Bochum-Langendreer haben die Forscher mit Absicht mitten im Ballungsraum Ruhrgebiet gewählt, weil sie hier sehr gut vernetzt sind und viele Patientenkontakte bekommen können. Zudem bietet das Krankenhaus mit der Neurochirurgie unter der Leitung von Prof. Dr. Kirsten Schmieder die Möglichkeit, vor Ort Elektroden ins Gehirn zu implantieren. Bis es so weit ist, dass die ersten Patientinnen und Patienten an Versuchen teilnehmen können, arbeitet die Nachwuchsgruppe in der Virtual Reality mit gesunden Probanden. Dabei geht es darum, die Grundlagen zu erforschen, die eine Steuerung von technischen Hilfsmitteln mithilfe der Gehirnnervenzellen ermöglichen.

Kabellose Technik

Unter anderem beschäftigen sich die Forscher damit, welche Nervenimpulse in Bewegungen übersetzt werden sollen. Die Probanden bekommen eine Virtual-Reality-Brille – demnächst kabellos für mehr Bewegungsfreiheit. Mittels verschiedener Steuergeräte – zum Beispiel Controller, die in den Händen gehalten werden, Handschuhe, oder auch per Kamera, die die Bewegungen der Hände aufnimmt – gilt es dann, verschiedene Aufgaben zu erledigen. Währenddessen können die Forscher über eine leichte und kabellose EEG-Kappe die Gehirnströme ableiten, um zu ermitteln, welche Hirnbereiche während der Aufgaben aktiv sind.
Eine andere Frage, die untersucht wird, ist, wie wichtig haptische Rückmeldungen sind, um einen Roboterarm steuern zu können. „Wer einmal mit einem betäubten Arm versucht hat, eine Tasse zu heben, weiß, wie kompliziert das ist, selbst wenn ich die visuelle Rückmeldung habe, dass ich den Gegenstand bewege“, so Christian Klaes.
Die Gruppe arbeitet auch mit der Epilepsie-Abteilung des Knappschaftskrankenhauses unter Leitung von Dr. Jörg Wellmer zusammen. Hier liegen Patienten, denen vorübergehend Elektroden ins Gehirn implantiert werden, die Aufschluss darüber geben sollen, in welchen Gehirnbereichen die Ursache ihres Anfallsleidens liegt. Diese Elektroden können als Nebeneffekt Aufschluss darüber geben, welche Nervenzellen bei bestimmten Bewegungen Signale aussenden. „Da unsere Virtual-Reality-Ausstattung mobil ist, können wir diese Patienten in ihren Zimmern besuchen und dort Versuche mit ihnen durchführen“, erklärt Christian Klaes. Bestimmte Elektroden liegen bei den Patienten häufig im Hippocampus, einer Gehirnregion, die mit räumlichem Gedächtnis und Navigation befasst ist. Ob und welche Signale von dort vielleicht sinnvoll nutzbar wären, um Hilfsmittel zu steuern, soll sich auf diese Weise herausstellen. Um der so gesammelten Datenflut Herr zu werden, nutzen die Forscher



Vier mal vier Millimeter misst ein solches Elektroden-Array. Ursprünglich wurde es zur Stimulation der Netzhaut entwickelt.

Methoden der künstlichen Intelligenz. Einer der Doktoranden hat sich spezialisiert auf das sogenannte Deep Learning, mit dem man aus großen Datenmengen die nützlichen Informationen herausfiltern kann.
Neben dem Traum vom Roboterarm können sich Klaes und seine Kollegen noch andere Möglichkeiten vorstellen, die gelähmten Patienten wieder zu mehr Eigenständigkeit verhelfen könnten. Ein Exoskelett, das die eigenen Arme und Beine anstelle der Muskeln bewegt zum Beispiel. „Man könnte die Muskeln auch selbst in Bewegung setzen, indem man sie über aufgeklebte oder implantierte Elektroden mittels Impulsen aus dem Gehirn dazu bringt, sich anzuspannen und zu entspannen“, sagt Christian Klaes. Allerdings würden die Muskeln unter diesen Bedingungen sehr schnell ermüden. Außerdem besteht dann die Gefahr, dass sich Patienten durch zu starke Bewegungen oder Stöße selbst verletzen, ohne es zu bemerken. Trotz dieser Hürden sehen Klaes und sein Team optimistisch nach vorn, denn die Technik entwickelt sich rasant. „Dieses Jahr wird das Jahr der Virtual Reality“, schätzt er. „Solche Brillen werden bestimmt unter vielen Weihnachtsbäumen liegen.“

Text: md, Fotos: dg

WO SIND DIE **GRENZEN** *MEINER* **FORSCHUNG***?*

Neuroinformatik

WENN MASCHINEN MENSCHEN ÜBERFLÜGELN

Neuroinformatik möchte einerseits das menschliche Gehirn verstehen, andererseits Algorithmen entwickeln, die menschliche geistige Fähigkeiten nachbilden oder gar übertreffen. Die jüngsten Erfolge des Maschinellen Lernens zeigen, dass es zunehmend gelingt, den Menschen zu überflügeln, zum Beispiel bei dem Spiel „Go“, bei bestimmten Computerspielen oder der Erkennung von Objekten in Fotos. Wir sind hier von einer ganzheitlichen Intelligenz zwar noch weit entfernt; es zeichnet sich aber ab, dass die Grenzen nicht so sehr technischer Natur sind, sondern eher ethischer: Möchten wir Maschinen haben, die intelligenter sind als wir? Wie viel Kontrolle möchten wir an solche Maschinen abgeben, um uns das Leben zu erleichtern? Im Verständnis des menschlichen Gehirns sehe ich eine grundsätzliche Grenze darin, dass es nicht gelingen wird, individuelles Verhalten über den Moment hinaus vorherzusagen, schlicht deswegen, weil es nicht gelingen wird, den Zustand eines individuellen Gehirns hinreichend auszumessen.

Prof. Dr. Laurenz Wiskott

Geowissenschaft

JENSEITS DER MENSCHLICHEN VORSTELLUNGSKRAFT

Ich arbeite an der Schnittstelle zwischen Karbonatgeochemie, Sedimentologie und Paläoklimaforschung. Anhand von See-Sedimenten oder Schneckengehäusen versuche ich, die Klimaschwankungen der vergangenen 600.000 Jahre zu rekonstruieren. Die Disziplinen entwickeln sich dabei sehr dynamisch. Was vor ein paar Jahren kaum möglich war, gehört heute oft zur Routineanalyse. Wir messen immer kleinere Proben mit zunehmend höherer Präzision. Mithilfe internationaler Kooperationen ist es möglich, exotische Orte zu besuchen und zu erforschen oder teure Messungen durchzuführen.
Immer wieder stehe ich vor einem Ergebnis, das anders ist als erwartet, das mir zunächst nichts sagt und das zu nichts von dem passt, was ich kenne. Habe ich etwas falsch gemacht? Ein Ausreißer, Maschinenfehler oder eine falsche Annahme? Die Naturgesetze sind in Zeit und Raum konstant; wir Erdwissenschaftler arbeiten mit Zeit- und Raumskalen, die die menschliche Wahrnehmung in beide Richtungen übersteigen. Oft müssen wir Annahmen jenseits unserer Vorstellungskraft machen, die wir empirisch weder beweisen noch widerlegen können. Glücklicherweise gibt es auch Hypothesen, die uns als Leitfaden für die weitere Arbeit dienen.

Prof. Dr. Ola Kwiecien

Materialwissenschaft

MEHR MUT ZU KREATIVITÄT

Im Jahr 2017 haben Forscher eine künstliche Intelligenz erschaffen, die ohne menschliche Anleitung und ohne Vorwissen selbstständig das chinesische Brettspiel „Go“ erlernt hat. In nur 40 Tagen wurde der Computer der beste Go-Spieler der Welt – eine unglaubliche Leistung. Überraschenderweise nutzte die künstliche Intelligenz Spielzüge, die Menschen zuvor nie eingesetzt hatten. Das hat mich sehr beeindruckt. Ich habe mich gefragt, ob unser Vorwissen manchmal unsere Kreativität begrenzt – und so auch ein Hindernis auf dem Weg zu neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen sein kann.
Hier ist ein Beispiel aus meiner eigenen Forschung, in der ich die Struktur und die chemischen Eigenschaften von Hochleistungsmaterialien charakterisiere: Ein Ziel der Materialwissenschaft ist, neue Werkstoffe mit speziellen Eigenschaften maßzuschneidern. Manchmal ist es allerdings schwer zu verstehen, warum ein Werkstoff sich so verhält, wie er es tut. Wir haben versucht, das Verhalten von komplexen Materialsystemen mit bereits existierenden und weitläufig akzeptierten Theorien zu erklären. Aber keine lieferte eine Antwort.
Mitunter lenkt uns unser Vorwissen in eine komplett falsche Richtung. Dabei geben uns die technischen Entwicklungen eigentlich die Chance, Theorien zu verifizieren oder zu modifizieren. Wir müssen bloß mehr um die Ecke denken und mutiger sein, um unsere Kreativität entfalten zu können.

Prof. Dr. Tong Li

Laser

EINES DER WERTVOLLSTEN WISSENSCHAFTLICHEN WERKZEUGE

Laserlicht ist eines der nützlichsten Werkzeuge, das Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern heute zur Verfügung steht, um die Geheimnisse der Natur zu entschlüsseln. Im Gegensatz zu herkömmlichem Licht kann es extrem stark in Raum und Zeit fokussiert werden. Mit Laserpulsen von wenigen Femtosekunden Länge – 0,000000000000001 Sekunden entsprechen einer Femtosekunde – können wir ultraschnelle Phänomene untersuchen, vergleichbar zum Fotografieren mit Blitzlicht: zum Beispiel die Bewegungen von Molekülen oder den Energiefluss in chemischen Reaktionen. Wenn wir das Laserlicht auf ein winziges Raumvolumen fokussieren, können wir sogar Bedingungen, wie sie im Inneren von Sternen auftreten, nachahmen. Mit Laserlicht können wir also eine unheimliche Bandbreite von Naturphänomenen untersuchen.
Ich erforsche die Grenzen dieser ultraschnellen Laser: Wie viel Leistung können sie erreichen? Wie kurz können die Pulse sein? Und wie hoch ihre Energie? Diese Arbeit erlaubt mir, in vorderster Reihe an aufregenden neuen wissenschaftlichen Entdeckungen mitzuwirken.

Prof. Dr. Clara Saraceno

Kosmische Magnetfelder

UNGEAHNTE **ORDNUNG** IM ALL

Aufnahme: ESO/IDA/Danish 1.5 m/R. Gendler and J.-E. Ovaldsen

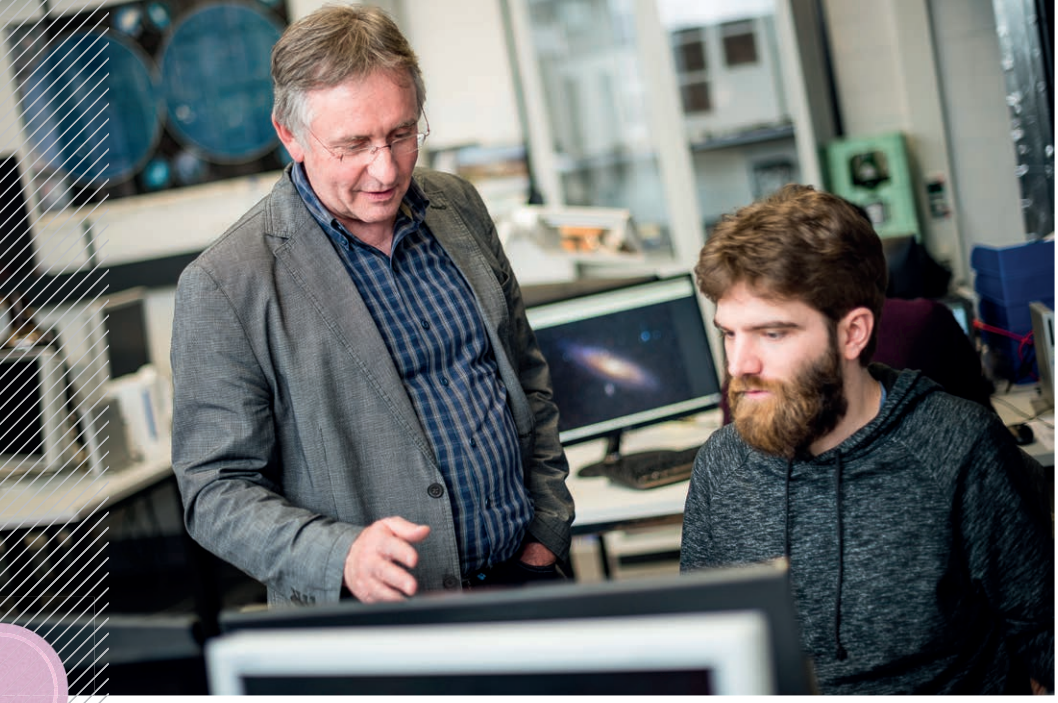
Moderne Radioteleskope fördern Strukturen zutage, die niemand erwartet hätte.

Ein feiner Draht, teils vorm Hintergrund kaum auszumachen, ist alles, was man von der überirdischen Messtechnik der Radioteleskope sieht, die in Jülich in den Himmel schauen. Keine beeindruckend großen Schüsseln und Antennen, nur die pyramidenförmig aufgespannten Metallfäden auf der Wiese. „Es sind ganz normale Drähte, so wie man sie auch als Antenne an einem Radio findet", erklärt Prof. Dr. Ralf-Jürgen Dettmar, dessen Team am Bau der Teleskopanlage Lofar, kurz für Low Frequency Array, am Forschungszentrum Jülich beteiligt war. Mit ihnen fangen die Astronomen Radiostrahlung von weit entfernten Galaxien auf. Der Jülicher Standort ist dabei nur einer von zahlreichen in Europa, die Daten in ein gemeinsames Netz einspeisen, das im niederländischen Groningen zusammenläuft.

Auch wenn die Teleskopantennen auf den ersten Blick unscheinbar aussehen, steckt Hightech in der Anlage. „Die Daten werden heute alle digitalisiert, sodass die Signale von mehreren Antennen leicht kombiniert und korreliert werden können", erzählt Ralf-Jürgen Dettmar, der an der Ruhr-Universität den Lehrstuhl für Astronomie leitet. „Damit haben wir die Grenze des Beobachtbaren hinausgeschoben." Denn mit der Technik können Forscher Daten mit einer höheren Empfindlichkeit aufzeichnen und aus einem breiteren Frequenzband auswerten als zu nicht-digitalen Zeiten, in denen sämtliche Verbindungen mit kleinen Kabeln hergestellt werden mussten. Das führt auch dazu, dass heute wesentlich mehr Daten anfallen als früher. „Wo wir damals einen Messpunkt hatten, sind es heute 1.024 oder 2.048 oder sogar noch mehr", verdeutlicht Dettmar. Alle neuen Radioteleskope funktionieren mit digitaler Technik. Die RUB-Gruppe ist an verschiedenen Großforschungsprojekten weltweit beteiligt, indem sie neue Methoden für die Datenanalyse entwickelt und bestimmte kosmische Phänomene untersucht, etwa galaktische Magnetfelder, die sich indirekt mit Radioteleskopen messen lassen.

Die Radiostrahlung entsteht durch folgenden Mechanismus: In gewaltigen Sternenexplosionen werden freie Elektronen beschleunigt, die aufgrund ihrer Ladung im kosmischen Magnetfeld eine schnelle Kreiselbewegung vollführen. Dabei senden sie Strahlung im Radiowellenbereich aus. Da die Kreiselbewegung an das Magnetfeld gekoppelt ist, enthält die Strahlung Information über das Magnetfeld selbst. Die Teleskope zeichnen Punkt für Punkt ein Bild der Strahlungsverteilung in einem bestimmten Himmelsbereich auf, und die Forscher können anhand der Radiosignale die Stärke und Richtung des Magnetfeldes berechnen.

Ralf-Jürgen Dettmars Team hat mit dieser Methode schon einige neue Erkenntnisse über die Magnetfelder von Galaxien gesammelt. „Galaxien wie unsere Milchstraße sind relativ platte Objekte, die wir uns als Scheibe vorstellen müs- ▸



Adam Enders (rechts) suchte schon in seiner Bachelor-Arbeit am Lehrstuhl Astronomie, den Ralf-Jürgen Dettmar (links) leitet, nach kleinen Galaxien, sogenannten Zwerggalaxien, mit hoher Sternentstehungsrate. Jetzt will er diese auch bei Radiowellenlängen beobachten. (Foto: dg)

Die Lofar-Anlage in Jülich hat zwar keine großen Schüsseln, bildet aber trotzdem ein leistungsfähiges Teleskop. Mit dünnen Drähten, die diagonal von einer zentralen Stange zum Boden führen, fängt die Anlage Radiostrahlung aus dem All auf. (Foto: Forschungszentrum Jülich)

sen“, veranschaulicht er. „Früher hat man geglaubt, dass die Magnetfelder in der Scheibe gefangen sind.“ Die Bochumer Astronomen belegten jedoch, dass das nicht stimmt. „Wir haben gezeigt, dass das Magnetfeld aus der Scheibe herausguckt“, erzählt Dettmar. Ähnlich wie das Erdmagnetfeld unseren Planeten umgibt, erstreckt sich das galaktische Magnetfeld von der Scheibe in das intergalaktische Medium, also den Raum zwischen den Galaxien. „Aber das wirklich Überraschende war: Das Magnetfeld der ersten Galaxie, die wir untersucht hatten, hatte eine großskalige reguläre Struktur“, so der Astronom. Das ist erstaunlich, wenn man den Ursprung der Magnetfelder betrachtet. Sie entstehen durch den turbulenten Prozess der Sternenexplosion. Immer wieder gehen Sterne einer Galaxie in Supernovae unter, wobei die Folgen einer solchen Explosion über Millionen von Jahren nachwirken. Die Energieausbrüche aller Supernovae zusammengenommen erzeugen das Magnetfeld der Galaxie. Dass aus einem solch chaotischen Prozess ein großräumig geordnetes Magnetfeld hervorgeht, verblüffte die Forscher. Die zugrunde liegenden Mechanismen sind bislang nicht vollständig verstanden.

Zunächst galt es für die Bochumer Astronominnen und Astronomen zu zeigen, dass ihre Beobachtung kein Einzelfall war. „Die Messtechnik ist durch die Digitalisierung so viel besser geworden, dass wir eine größere Stichprobe erheben konnten“, sagt Ralf-Jürgen Dettmar. Im ersten Anlauf hatten die Forscher nur drei Galaxien untersuchen können. Inzwischen liegen ihnen Daten von rund 40 Galaxien vor, die in 400 Stunden Messzeit an einer nordamerikanischen Teleskopanlage erhoben wurden. Die Aufzeichnung erfolgte bereits 2011 und 2012; fünf Jahre später liegen nun erste Ergebnisse der Analysen vor. „Durch die Digitalisierung fielen plötzlich so viele Daten an, dass wir erst einmal eine passende Ausstattung brauchten, um sie handhaben zu können“, erzählt Dettmar. Auch die alten Analysemethoden waren nicht mehr ausreichend; neue Algorithmen mussten her, um Magnetfeldstärke und -ausrichtung aus dem großen Datenvolumen berechnen zu können.

Auf die Magnetfeldstärke schließen die Forscher anhand der Intensität der gemessenen Radiostrahlung. Die Magnetfeldrichtung berechnen sie aus der Polarisationsrichtung der empfangenen Strahlung. „Die Strahlung kommt allerdings aus einem turbulenten Medium, in dem Teilchen mit hohen Geschwindigkeiten verwirbelt werden“, beschreibt der Astronom. „Die Magnetfeldlinien sind also alle miteinander verwoben, und es ist nicht allzu einfach, die Richtung zu berechnen.“ Dennoch traten die großräumigen Strukturen in den galaktischen Magnetfeldern klar zutage.

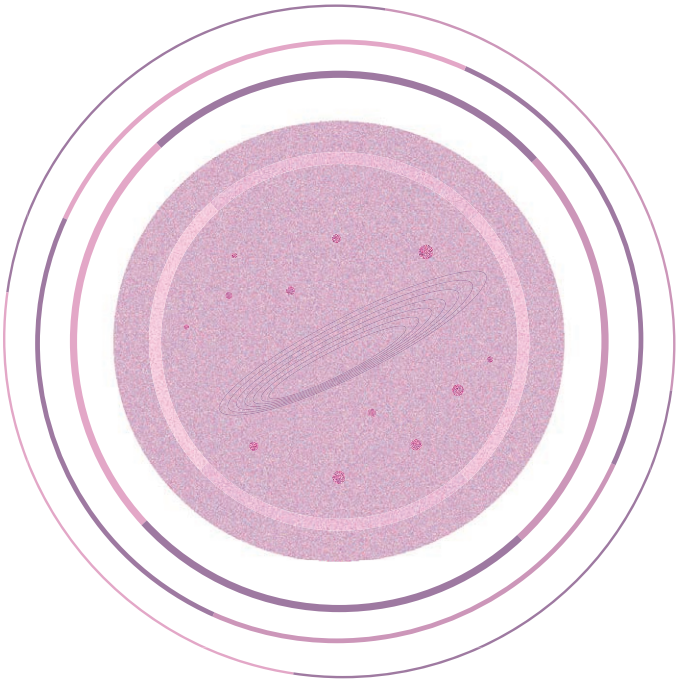
Fast alle untersuchten Galaxien weisen ein großräumig strukturiertes Magnetfeld auf, allerdings gibt es ein paar Ausreißer, bei denen keine solche Struktur zu erkennen ist. Hinzu kommt, dass die Struktur nicht bei allen Galaxien identisch ist. „Bislang können wir nur spekulieren, woran das liegt“, sagt Dettmar. „Es könnte etwas mit der jeweiligen Art der Galaxie zu tun haben. Aber wir wissen es noch nicht.“ Diese Frage wird ihn und seine Arbeitsgruppe weiter umtreiben. Ebenso wie ein paar andere Rätsel, die die kosmischen Magnetfelder bislang noch aufgeben. Unklar ist zum Beispiel, wie groß das Magnetfeld ist, das eine Galaxie umgibt. „Wir sehen bislang keine Kante“, erklärt Dettmar.

Dr. Arpad Miskolczi (links) und Ralf-Jürgen Dettmar diskutieren neue Messungen zu Magnetfeldern in Galaxien ähnlich unserer Milchstraße, die mit dem Lofar-Teleskop gewonnen wurden. Miskolczi ist auch für die Technik an der Lofar-Station der RUB am Forschungszentrum Jülich zuständig. (Foto: dg)

Mit zunehmender Entfernung von der Galaxie wird das Magnetfeld schwächer – und somit auch schwerer zu beobachten. Je länger die Astronomen ihre Teleskope darauf richten, desto empfindlicher ist die Messung, da Signale aus einem größeren Zeitfenster integriert werden können. Je länger sie also eine Galaxie beobachten, desto schwächere und ausgedehntere Magnetfelder sehen sie, weil sie auch die schwächeren Bereiche detektieren können. Ein Ende haben sie bislang nicht entdeckt.

Dettmar hofft, dass die Technik eines Tages sensibel genug ist, um auch den intergalaktischen Magnetfeldern auf die Schliche zu kommen. „Es gibt Theorien, dass das intergalaktische Medium von Magnetfeldern erfüllt ist, aber sie müssten wesentlich schwächer sein als die galaktischen Felder“, sagt er. „Im Moment können wir sie nicht direkt beobachten, es ist an der Grenze des Machbaren.“ Ein detailliertes Verständnis der Magnetfelder im Weltall könnte helfen, andere kosmische Phänomene zu ergründen. Etwa wie sich die Materie so auf die Galaxien verteilt hat, wie wir es heute beobachten, oder was die Quellen der kosmischen Strahlung sind. Solche Fragen an der Schnittstelle verschiedener Disziplinen bearbeiten die Mitglieder im Ruhr Astroparticle Plasma Physics Center, dem auch Ralf-Jürgen Dettmar angehört. Die Einrichtung versammelt 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Ruhrgebiet, die in der Astro-, Teilchen- und Plasmaphysik forschen. Gemeinsam wollen sie künftig Fragen beantworten, die keine Disziplin für sich alleine klären kann.

jwe



DAS GRÖSSTE RADIOTELESKOP DER WELT

INFO

Das Team von Ralf-Jürgen Dettmar ist an verschiedenen Radioastronomie-Projekten weltweit beteiligt, unter anderem auch am Bau des künftig größten Radioteleskops der Erde. Anders als die Lofar-Anlage in Jülich wird das sogenannte Square Kilometre Array in Südafrika und Australien Radioteleskope in Form von großen Schüsseln beherbergen. Unterstützt vom Bundesministerium für Bildung und Forschung entwickeln die Bochumer Forscher neue Methoden für die Auswertung der Daten, die das Square Kilometre Array produzieren wird.

FORSCHUNG MIT DEMENZKRANKEN

Demenzkranke im fortgeschrittenen Stadium sind häufig nicht selbstbestimmungsfähig. Dennoch erlaubt ein 2017 erlassenes Gesetz die Forschung mit diesen Patienten.

Gegen Demenzerkrankungen gibt es bislang keine zufriedenstellende Behandlung. Die Suche danach ist ein Forschungsfeld mit großer Bedeutung für die Betroffenen und auch für die Gesellschaft, denn aufgrund des demografischen Wandels wird es immer mehr demenzkranke Menschen geben. Um auf dem noch weiten Weg voranzukommen, sind wissenschaftliche Studien mit Demenzpatienten notwendig. Was aber, wenn die Patienten aufgrund ihrer Demenz nicht mehr in der Lage sind, in die Teilnahme an einer Studie einzuwilligen?

Mit dieser Frage beschäftigt sich ein Forschungsprojekt, das seit 2016 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird. Prof. Dr. Dr. Jochen Vollmann, Medizinethiker an der Ruhr-Universität Bochum, ist mit seinem Team daran beteiligt.

Herr Professor Vollmann, was macht das Thema so aktuell?

Im Jahr 2017 hat es eine wichtige Gesetzesänderung gegeben: Bis dahin war die Forschung mit nicht einwilligungsfähigen Probanden nur dann erlaubt, wenn die Teilnahme mit einem potenziellen eigenen Nutzen verbunden war. Das ist bei Demenzpatienten oft nicht der Fall: Diese Forschung wird in vielen Fällen erst dann Früchte tragen, wenn die Patienten, die daran beteiligt waren, selbst verstorben sind.

Die neue Gesetzgebung erlaubt die Teilnahme nicht einwilligungsfähiger Patienten auch dann, wenn es um den sogenannten Gruppennutzen geht. Das war in Deutschland über Jahrzehnte hinweg hoch umstritten, wohl auch, weil man aufgrund der Nazi-Vergangenheit die Gefahr des Missbrauchs einer solchen Regelung fürchtete. Das geänderte Gesetz enthält deshalb auch eine bedeutende Einschränkung: Die gruppennützige Forschung mit nicht einwilligungsfähigen Probanden ist nur dann erlaubt, wenn diese in Zeiten, in denen sie noch einwilligungsfähig waren, eine Forschungsvorausverfügung verfasst haben.

Wie könnte so eine Verfügung aussehen?

Das lässt das Gesetz offen. Und hieran arbeiten wir unter anderem. Man könnte ja auf die Idee kommen, dieselben Bedingungen an eine Forschungsvorausverfügung zu stellen wie an eine Patientenverfügung. Letztere muss im doppelten Sinne konkret sein: Es müssen konkrete Situationen und konkrete Maßnahmen beschrieben sein, die der Patient wünscht oder eben nicht. Ein Beispiel: Die Aussage „Ich will keine Medikamente“ ist viel zu pauschal. Es könnte zum Beispiel heißen: „Falls ich eines Tages an einer Demenz im Spätstadium leide, in dem ich meine Angehörigen nicht mehr erkenne, wünsche ich keine künstliche Ernährung zum Beispiel mittels einer PEG-Sonde.“ Dieses Maß an Konkretheit kann für eine Forschungsvorausverfügung nicht gelten, denn Forschung ist nicht vorhersehbar.

Die Frage ist nun, wie setzt man das Gesetz um? Ist die Hürde so hoch, dass sich am Ende doch gar nichts ändert? Um dem entgegenzuwirken, haben wir einen Vorschlag erarbeitet, wie eine solche Verfügung aussehen könnte: Sie sollte nur allgemeine Aussagen enthalten, etwa, dass jemand grundsätzlich bereit ist, für den Bereich der Alzheimer-Erkrankung an Forschung teilzunehmen. Einschränkungen sind natürlich auch möglich, zum Beispiel, jemand möchte nur an neuropsychologischen Tests teilnehmen, aber nicht an Medikamentenstudien oder umgekehrt. Auf Grundlage dieser Verfügung muss dann im konkreten Fall der rechtliche Betreuer prüfen, ob der nicht einwilligungsfähige Patient an einer konkreten Studie teilnehmen darf.

Wie würde sich dieser Vorschlag niederschlagen, wenn Sie damit erfolgreich wären?

Wenn unser Vorschlag erfolgreich ist, könnte das Gesetz zum Beispiel präzisiert werden – was eher unwahrscheinlich ist. Wahrscheinlicher ist, dass diese Regelungen in Form von Verordnungen festgehalten werden, die das zuständige Ministerium erlässt. Auch könnten sich die Forscher selbst verpflichten, sich an solche Regeln zu halten, unabhängig davon, ob sie gesetzlich verankert sind oder nicht. Dann würden sie in Leitlinien festgehalten, die die medizinisch-wissenschaftlichen Fachgesellschaften herausgeben.

Wie lässt sich denn eigentlich feststellen, ob ein Patient einwilligungsfähig ist oder nicht?

Die Grenze zwischen einwilligungsfähig und nicht einwilligungsfähig ist in der Praxis nicht immer leicht festzustellen. Demenzpatienten sind zum Beispiel morgens oft klarer als abends, wenn sie müde sind. Ein Gespräch, in dem die Einwilligungsfähigkeit für eine bestimmte Frage geklärt werden soll, sollte dann eher am Morgen stattfinden. Es sollte in ruhiger Umgebung und mit ausreichend Zeit stattfinden. Der Arzt oder die Ärztin sollte eine verständliche Sprache wählen,

überprüfen, was der Patient verstanden hat, und eventuell die gegebenen Informationen wiederholen. Kurz gesagt, es geht darum, das Beste rauszuholen, was noch an Selbstbestimmung möglich ist.

Wichtig ist auch: Patienten können in manchen Dingen durchaus selbstbestimmungsfähig sein, in anderen aber nicht. Eine demenzkranke Frau kann natürlich selbst entscheiden, ob sie lieber Tomaten- oder Erbsensuppe essen möchte. Aber ob sie besser Medikament A oder B nehmen sollte, kann sie nicht mehr selbst entscheiden, diese Frage ist zu komplex.

Welche Zeichen kann man deuten, um herauszufinden, ob jemand selbstbestimmt entscheiden kann?

Eine gute Methode, um herauszufinden, ob jemand verstanden hat, was man ihm erklärt, ist, es ihn in seinen eigenen Worten wiedergeben zu lassen. Es geht dabei weder um einen Gedächtnistest noch um eine wortgleiche Wiederholung der ärztlichen Informationen. Wer ferner eine Entscheidung nachvollziehbar begründen und die Vor- und Nachteile einer Behandlung beziehungsweise einer Studienteilnahme erkennen und kommunizieren kann, ist wahrscheinlich auch in der Lage selbstbestimmt zu entscheiden.

Text: md; Foto: Reinhard Rosendahl im Auftrag der BZgA Köln

WO SIND DIE **GRENZEN** *MEINER* **FORSCHUNG***?*

Genderforschung

WENN DIE METHODEN GRENZEN AUFERLEGEN

In der empirischen Sozialforschung setzen wir uns während des gesamten Erhebungsprozesses mit den Grenzen der Erkenntnis auseinander. Sind die gewählten Methoden dem Gegenstand angemessen? Was sehen wir? Und vor allem: Was sehen wir nicht? Hinzu kommen Fragen der Forschungsethik: Zum Beispiel wurde in den vergangenen Jahrzehnten zumeist über intergeschlechtlichte Menschen geforscht, aber nie mit ihnen. Kürzlich haben wir ein Projekt über die Versorgungssituation von intergeschlechtlichen Kindern in NRW-Kliniken abgeschlossen, und dabei auch die Sichtweise der Betroffenen eingebunden. Unsere Studie haben wir von einem transdisziplinär besetzten Beirat begleiten lassen. Durch diesen partizipativen Ansatz wurde vor allem eins deutlich: die Grenzen der eigenen Perspektive. Basierend auf dem Feedback des Beirats haben wir unsere Forschungsfragen erweitert – was zu besseren Ergebnissen geführt hat.

Prof. Dr. Katja Sabisch

Philosophie

GRENZENLOSE FORSCHUNGSGEGENSTÄNDE

Was ist überhaupt eine Grenze? Als Philosophin frage ich zunächst nach Inhalt und Bedeutung des Grenzbegriffs. Es gibt in der Philosophie den Streit um die Grenzen der menschlichen Erkenntnis, des sprachlichen Ausdrucks, der Ethik und so weiter. Der Forschungsgegenstand der Philosophie ist ja selbst nicht eingrenzbar. Alles, was gedacht werden kann, also auch das Denken selbst, wird erforscht. Dabei kommt die Philosophie zu systematischen, historischen und interdisziplinären Ergebnissen. Die Grenze muss aber immer neu ausgelotet werden und ist an die jeweilige Disziplin gebunden. Die praktische Philosophie, die es mit ethisch-normativen Themen zu hat und sich den Fragen des ethisch Vertretbaren zu stellen hat, stößt an andere Grenzen als die theoretische Philosophie, die an der Grenze des Erkenntnisvermögens, des Bewusstseins und der Logik forscht. Eine Grenze der besonderen Art ist mit den begrenzten finanziellen Mitteln für Forschungsprojekte gegeben. Aber dieses Problem stellt sich ja fachübergreifend.

Prof. Dr. Annette Sell

Mathematik

EIN VERMEINTLICH UNLÖSBARES PROBLEM

Kann man mathematisch beweisen, dass die in modernen Webbrowsern eingesetzten Verschlüsselungsverfahren zur sicheren Datenübertragung wirklich sicher sind? Können wir also zeigen, dass man zum Entschlüsseln der Daten selbst mit dem besten und schnellsten Computer mindestens mehrere Milliarden Jahre benötigen würde? Nach dem heutigen Stand der Forschung: leider nein.

Ein solcher Beweis hätte dramatische Konsequenzen zur Folge und bringt uns an die Grenzen unseres momentanen Wissens. Er würde nämlich das berühmte P-NP-Problem lösen, welches auf der Liste der sieben ungelösten Probleme der Mathematik steht, die das Clay Mathematics Institute im Jahr 2000 veröffentlicht hat. Das Institut hat für die Lösung eines dieser Probleme ein Preisgeld von jeweils einer Million US-Dollar ausgelobt.

Solange das P-NP-Problem nicht gelöst ist, führen wir Kryptografen die Sicherheit der Verschlüsselungsverfahren auf die Schwierigkeit des Lösens eines gut verstandenen mathematischen Rätsels zurück. Wir beweisen zum Beispiel, dass das Entschlüsseln der Daten mindestens so schwierig ist wie das Zerlegen einer großen Zahl in ihre Primfaktoren. Wir können ruhig schlafen, denn dieses sogenannte Faktorisierungsproblem ist ein wirklich schwieriges Problem, welches schon sehr viele kluge Köpfe erfolglos versucht haben zu lösen.

Prof. Dr. Eike Kiltz

Archäologie

WENN FORSCHUNG MISSBRAUCHT WIRD

Vor allem in der NS-Zeit haben sich Forschungsinstitute in Deutschland über ethische Grenzen systematisch hinweggesetzt und der Wissenschaft damit großen Schaden zugefügt. Heute wird die Gefahr des konkreten Missbrauchs gerade naturwissenschaftlicher Forschungsergebnisse viel diskutiert, während ihre ideologische Nutzung oft marginalisiert wird – obwohl sie weitreichende Auswirkungen hat. In der Archäologie werden derzeit zahlreiche DNA-Studien durchgeführt, um eingewanderte und damit anscheinend fremde Bevölkerung zu identifizieren. Solche Studien genießen ein hohes Prestige und sind leicht in renommierten Zeitschriften unterzubringen; oft wird für die Analysen aber eine unzureichende Probenanzahl verwendet.

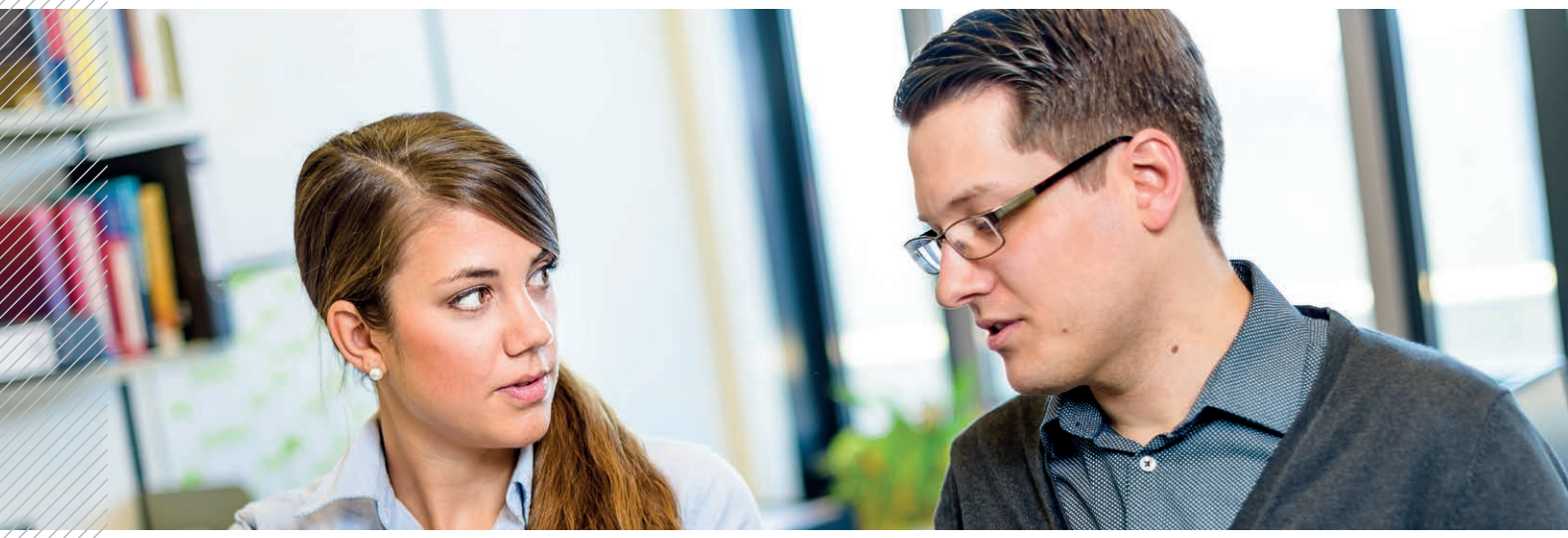
Die Auswirkungen dieser Studien in einem derzeit nach Abgrenzung und nationaler Identität strebenden Europa werden außer Acht gelassen. Manche Forscher proklamieren einen völligen Austausch der zentraleuropäischen Bevölkerung in der Frühen Bronzezeit, weil in den genommenen Proben DNA enthalten war, die zuvor nicht in Mitteleuropa zu finden war. Diese Ergebnisse stoßen bei bestimmten politischen Gruppen auf Interesse. Damit werden die heutigen Ängste vor Überfremdung weiter geschürt. Meines Erachtens müssen wir diesen Missbrauch in unseren Forschungen mitdenken und im Zweifel lieber auf eine prestigeträchtige Publikation verzichten.

Prof. Dr. Constance von Rüden

Im Gespräch

ÖKONOMIE UND VERANTWORTUNG

Franziska Hoffart und Florian Lewalder promovieren am Lehrstuhl für Makroökonomik. Bei Forschung und Lehre blicken sie über den Tellerrand hinaus.



Ökonomen haben Einfluss auf die Gesellschaft, sagen Franziska Hoffart und Florian Lewalder. Daher haben sie auch Verantwortung.

Frau Hoffart, Sie beschäftigen sich mit der Frage, welche Verantwortung Wissenschaftler haben. Sind Sie schon zu einer Antwort gekommen?

Franziska Hoffart: In meiner Masterarbeit habe ich dafür argumentiert, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Verantwortung haben, zum Beispiel eine soziale Verantwortung gegenüber der Gesellschaft. Speziell habe ich mich mit Ökonomen und ihrer besonderen Rolle bei der Bekämpfung des Klimawandels beschäftigt. Sie sollten sich zum Beispiel mit sozial relevanten Forschungsfragen beschäftigen und ihre Ergebnisse so kommunizieren, dass sie der Öffentlichkeit und Politik nutzen.

Und wie sehen das die Wissenschaftler?

Hoffart: Einige Ökonomen sagen, dass nicht sie am Ende die Politikmaßnahmen umsetzen, also haben sie auch keine Verantwortung. Das ist eine sehr starke Positionierung. Ich denke, Ökonomen haben auf verschiedene Weise direkten und indirekten Einfluss auf die Gesellschaft.

Wie denn?

Hoffart: Sie bilden zum Beispiel die künftigen Ökonomen aus, die dann in der Praxis arbeiten. Sie beeinflussen deren Arbeit zum Beispiel dadurch, welche Theorien sie lehren.

Florian Lewalder: Viele Methoden und Kennziffern, die Ökonomen entwickeln, sind mittlerweile in aller Munde. Etwa das Bruttoinlandsprodukt. Das ist kein natürliches Phänomen, sondern eine Erfindung, die heute fast jeder kennt. Wirtschaftsmethoden diffundieren in die Gesellschaft, so wie auch Theorien aus anderen Disziplinen.

Das klingt eher nach einem indirekten Einfluss.

Hoffart: Die Volkswirtschaftslehre wird häufig als die politisch einflussreichste Wissenschaft bezeichnet. Gerade wenn es um die Meinungsbildung geht. In den Medien werden häufig Ökonomen gebeten, eine Einschätzung als Experten abzugeben. Manche Ökonomen besetzen auch einflussreiche Posten: Die aktuelle Chefin der US-Notenbank Fed ist eine Akademikerin, die ihre wissenschaftliche Arbeit derzeit ruhen lässt. Einige Wissenschaftler sind auch als Politikberater tätig und nehmen auf diese Weise Einfluss.

Verschwimmen da nicht die Rollen von Wissenschaftler, Berater und vielleicht sogar Privatperson?

Lewalder: Bestimmt, zumindest in der öffentlichen Wahrnehmung. Professor Christoph Schmidt, der Vorsitzende des Sachverständigenrates für Wirtschaft, hat während der Jamaika-Sondierungsgespräche für eine mögliche Bundesregierung für Aufsehen gesorgt, weil er sich für eine Flexibilisierung der Arbeitszeit aussprach – ein zentraler Programmpunkt der FDP. In welcher Funktion hat er diese Aussage

getroffen: als Vorsitzender des Sachverständigenrats? Als Wissenschaftler? Oder als Privatperson, die eine bestimmte Politikmaßnahme unterstützen will? Die Öffentlichkeit kann natürlich nicht zwischen den drei Positionen unterscheiden. Das ist ein interessantes Beispiel für das Feld, in dem sich ökonomische Beratung bewegt.

In der Öffentlichkeit kommen meist Statements an, die zugunsten der Verständlichkeit vereinfacht sind. Sind diese wissenschaftlich fundiert möglich?

Hoffart: Man muss sich überlegen, was die Kriterien für eine wissenschaftlich fundierte Antwort sind. Ich würde sagen, man sollte seine Methoden offenlegen, wie man zu einer Antwort gekommen ist, und in welcher Rolle man einen Ratschlag gegeben hat: als Wissenschaftler, der sämtliche Theorien kennt, oder als Politikberater, der beauftragt wurde, für eine bestimmte Politik zu argumentieren.

Lewalder: Das passiert aber natürlich höchstens dem Politiker gegenüber; was in der Öffentlichkeit ankommt, ist überspitzt. Man kann ja auch verstehen, dass die Leute klare Antworten haben wollen. Es gibt ein schönes Zitat von Präsident Truman, der sich einen einarmigen Ökonomen gewünscht hat, weil die Berater ihm immer gesagt haben „on the one hand“ und „on the other hand“. Hätte der Ökonom nur einen Arm, wüsste er endlich, was zu tun sei. Aber es ist unmöglich, in einer so komplexen Sozialstruktur alle Auswirkungen einer Politikmaßnahme vorherzusehen. Sie wird meistens sowohl positive als auch negative Effekte haben.

Finden Sie es wünschenswert, dass Wissenschaftler sich in der Politikberatung engagieren?

Lewalder: In meinen Augen ist die Ökonomie eingebettet in die Politik, und es ist gut, wenn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sich auch mit gesellschaftlich relevanten Fragen beschäftigen. Wobei es nicht immer leicht ist zu definieren, was gesamtgesellschaftlich relevant ist. Es gibt den einen oder anderen Volkswirt, der sich sehr in seinen mathematischen Modellen verliert, die man so nicht auf die Welt anwenden kann, weil sie einfach kein Gleichungssystem ist.

Hoffart: Eine Grundvoraussetzung, damit die Wissenschaftler gesellschaftlich relevante Themen in Angriff nehmen können, ist, dass die Wissenschaft offen ist für Ansätze, die nicht dem Mainstream folgen. Sie sollten der Methodenvielfalt und Interdisziplinarität offener gegenüberstehen. Denn die brennenden gesellschaftlichen Themen können nicht von einer Disziplin allein gelöst werden. In meiner Masterarbeit habe ich zum Beispiel geschaut, ob Ökonomen Verantwortung haben, den Klimawandel zu adressieren. Die ökonomische Standardtheorie gibt recht einfache Antworten auf das Problem: Man könnte den CO_2-Preis erhöhen oder bestimmte Steuern einführen. Aber aktuell funktionieren diese Maßnahmen nicht. Aufgabe der Ökonomie sollte es sein, mehr Realitätsbezug zu entwickeln und – wenn die Mainstream-Lösung nicht funktioniert – andere Optionen zu erschließen.

Herr Lewalder, als Lehrender sind Sie am Masterstudiengang Economic Policy Consulting beteiligt. Geht es darin auch um gesellschaftliche Relevanz?

Lewalder: Ja, wobei wir das Thema nur anreißen können. Wir bilden Ökonomen mit dem Schwerpunkt Politikberatung aus. Wichtig ist uns, dass die Studierenden eine Haltung für sich entwickeln. In meinem Seminar geht es um Fragen wie: Wie reflektiere ich als Wissenschaftler, wer ich bin und was meine Werte sind? Wie sind meine Ergebnisse von Werten getrieben? Wir schauen aber auch, wer überhaupt Ökonom wird. Es gibt Untersuchungen, dass Studierende der Volkswirtschaftslehre schon zu Beginn ihres Studiums andere Wertvorstellungen haben als etwa Philosophiestudierende. In diesen Arbeiten wurden zum Beispiel verschiedene Personengruppen gebeten einzuschätzen, wie wichtig es ihnen ist, Macht zu haben oder mitmenschlich zu agieren. Studierende der Volkswirtschaftslehre geben Macht häufiger als Ziel an als Vergleichsgruppen.

Was bedeutet das für die Politikberatung später?

Lewalder: Es bedeutet, dass die praktisch betriebene Politikberatung möglicherweise nicht die ganze Bandbreite abdeckt, die sie abdecken könnte, wenn auch andere Menschen in den Ökonomie-Studiengang kämen.

Text: jwe, Foto: dg

FRANZISKA HOFFART

INFO

Franziska Hoffart absolvierte an der RUB den Studiengang Ethics, Economics, Law and Politics, wobei ihr Fokus auf der Schnittstelle von Philosophie und Volkswirtschaftslehre lag. Nach Abschluss ihrer Masterarbeit zur Verantwortung von Ökonomen für die Gesellschaft forscht und promoviert sie derzeit am Lehrstuhl für Makroökonomik zu der Frage, wie man Klimaschutzmaßnahmen sinnvoll ökonomisch bewerten kann.

FLORIAN LEWALDER

INFO

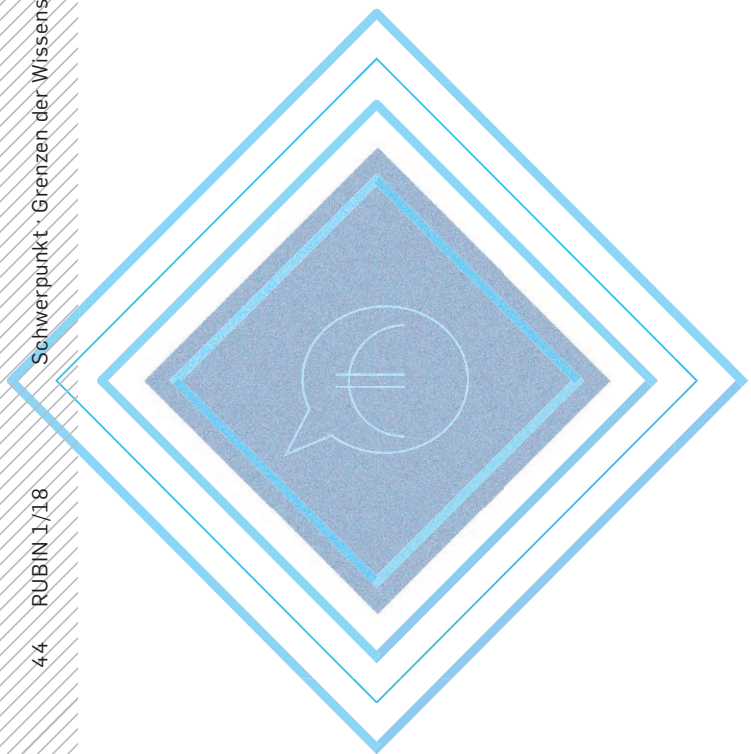
Florian Lewalder hat Volkswirtschaftlehre studiert und promoviert nun am Lehrstuhl für Makroökonomik. Er untersucht die Motivation von Menschen, sich für grüne Produkte anstelle von konventionellen Produkten zu entscheiden, und erforscht, wie Politik eingreifen kann, damit sich eine Ökoinnovation langfristig am Markt etablieren kann. In der Lehre engagiert er sich im Studiengang Economic Policy Consulting, ein seltenes Fach.

Prof. Dr. Christoph Schmidt (Foto: RWI, Sven Lorenz)

CHRISTOPH SCHMIDT

INFO

Prof. Dr. Christoph M. Schmidt hat an der Ruhr-Universität Bochum den Lehrstuhl für Wirtschaftspolitik und angewandte Ökonometrie inne und ist Präsident des RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung in Essen. Seit 2009 ist er Mitglied im Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung, seit 2013 dessen Vorsitzender.



Im Gespräch

»FORSCHUNG SOLLTE KEIN DIENSTGEHEIMNIS BLEIBEN«

Christoph Schmidt und Helmut Karl sind in der Politikberatung aktiv – und geben Einblicke in diese Tätigkeit.

Denken Sie, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, speziell Ökonomen, eine Verantwortung haben, sich am Transfer von wissenschaftlichen Erkenntnissen in die Gesellschaft zu beteiligen?

Christoph Schmidt: Aus Kompetenzen erwächst natürlich Verantwortung. Ökonomen steht ein ausgereiftes Handwerkszeug zur Verfügung, um für alle Menschen relevante Sachverhalte zu erfassen und ihre Ursachen und Konsequenzen zu analysieren. Es versteht sich in unserer freiheitlichen Gesellschaft von selbst, dass die Ergebnisse dieser Forschung kein Dienstgeheimnis bleiben, sondern der Allgemeinheit zur Verfügung stehen.

Helmut Karl: Politische Probleme vom Klimaschutz bis hin zur Flüchtlingspolitik können aufgrund ihrer Komplexität besser gelöst werden, wenn wissenschaftliche Erkenntnisse in den Diskussions- und Entscheidungsprozess einfließen. Insofern sollten nicht nur Ökonomen, sondern je nach Fragestellung Soziologen, Klimaforscher, Mediziner und andere Wissenschaftler Erkenntnisse in Politik und Gesellschaft transferieren.

Als Politikberater sind Sie gleichzeitig Wissenschaftler sowie ein Experte, der von der Politik beauftragt wurde, und eine Privatperson mit einer politischen Meinung. Kann man verhindern, dass diese Rollen verschwimmen?

Schmidt: Kein Wissenschaftler wird sich ganz von seinen persönlichen Eindrücken und Erfahrungen befreien können. Doch bei meinen öffentlichen Stellungnahmen fühle ich mich nie als Privatperson, sondern immer als wirtschaftspolitischer Berater gefragt. Ich vertrete keine Unternehmens-, Verbands- oder Parteiinteressen und stütze meine Positionen nach bestem Wissen und Gewissen durch empirische Resultate und stichhaltige Argumente ab. Dabei hilft mir häufig die Expertise des Sachverständigenrates und des Leibniz-Instituts für Wirtschaftsforschung RWI. Einen Rollenkonflikt sehe ich nicht, denn ich vertrete in meiner Rolle als Wissenschaftler und Mitglied des Sachverständigenrates inhaltlich die gleiche Position.

Karl: Es wird immer versucht, Wissenschaftler für Gruppeninteressen und Meinungen zu vereinnahmen. Das ist auch nicht schlimm. Wissenschaftler sollten aber im Gegensatz zu anderen in der politischen Willensbildung überprüfbare Tatsachenaussagen einspeisen, etwa die Frage beantworten, welche

Wohlfahrts-, Wachstums- und Verteilungswirkungen sich mit Freihandelsabkommen wie TTIP verbinden. Empirische Untersuchungsergebnisse können sich allerdings widersprechen, zum Beispiel, wenn das Design der Studien unterschiedlich ausfällt. Beratungsbotschaften an Politik, Verwaltung und Öffentlichkeit müssen daher hinsichtlich der Annahmen, Methoden und theoretischen Hintergründe transparent gemacht werden. Es kann ein Ideenwettbewerb darüber geführt werden, welcher Ansatz theoretisch und methodisch für ein wirtschaftspolitisches Problem geeignet ist.

Lässt sich das komplexe Sozial- und Wirtschaftsgefüge ausreichend theoretisch analysieren, um der Politik verlässliche Empfehlungen an die Hand zu geben?

Schmidt: Die moderne Welt ist in der Tat höchst komplex. Weder die Wissenschaft noch andere Akteure können der Politik daher eindeutige Handlungsanweisungen an die Hand geben, deren Befolgung sicher zu den erwünschten Ergebnissen führt. Die Wissenschaft kann aber in akribischer Detailarbeit viele Bausteine zusammentragen, die der Politik Hinweise auf Maßnahmen geben, die mehr Erfolg versprechen als andere.

Karl: Gerade weil es sich um ein komplexes und zudem dynamisches Gefüge handelt, gibt es auch fast 200 Jahre nach der Begründung der klassischen Ökonomie durch Adam Smith konkurrierende Erklärungsansätze zum Beispiel über die Effizienz und Stabilität von Märkten. Auf der anderen Seite gibt es einen umfangreichen Pool theoretisch gut erforschter Kausalzusammenhänge. Dies gilt etwa für die Wachstumsökonomik, deren Erkenntnisse in den Aufbau Ost und die Europäische Regionalpolitik eingeflossen sind.

Wenn Sie zu einer wirtschaftspolitischen Frage Stellung nehmen, haben Sie diese dann zunächst aufwendig wissenschaftlich analysiert oder können Sie basierend auf Ihrer Expertise eine spontane Einschätzung abgeben? Sollten Politikberater aus der Wissenschaft auch Antworten auf Fragen liefern, die nicht den Kern des eigenen Forschungsschwerpunktes treffen?

Schmidt: Wirtschaftspolitische Fragen betreffen häufig Sachverhalte, bei denen man nicht auf die eigene Forschung zurückgreifen kann. Das gilt vor allem für völlig neue Sachverhalte. Doch eine fundierte Einschätzung ist möglich, wenn man eine hinreichend starke Analogie zu solchen Sachverhalten begründen kann, welche vorher in der einschlägigen Fachliteratur oder gar in eigener Forschung analysiert wurden.

Karl: Über Kausal- und Tatsachenzusammenhänge wird man vermutlich in seinem Kerngebiet besser Bescheid wissen. Insofern muss ich nicht immer erst neu in den Elfenbeinturm, wenn ich Stellung nehme. Auch halte ich es für sinnvoll, sich nicht ausschließlich auf sein Kerngebiet zu beschränken, weil dann Vielfalt und Ideenwettbewerb zu kurz kommen. Aber am Ende muss ich auf der Basis empirisch nachweisbarer Kausalzusammenhänge argumentieren, ansonsten äußere ich eine Meinung. Diese sollte nicht deshalb mehr Gewicht haben, weil es die eines Wissenschaftlers ist.

jwe

HELMUT KARL

INFO

Prof. Dr. Helmut Karl hat an der RUB den Lehrstuhl für Volkswirtschaftspolitik 3 inne. Er hat unter anderem zur Reform der regionalen Wirtschaftspolitik in Deutschland gearbeitet sowie auf Bundes- und Länderebene zur Koordination von Fachpolitiken und zur Optimierung von regionaler Innovationspolitik. Darüber hinaus beschäftigt er sich in der Politikberatung von Wasserverbänden und Umweltministerien mit der Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie.

Prof. Dr. Helmut Karl (Foto: dg)

EXOTISCHER **ZUWACHS** IM **TEILCHENZOO**

Hunderte von subatomaren Teilchen sind mittlerweile entdeckt. Aber noch immer verstehen Forscher die einfachsten zusammengesetzten Zustände der Materie nicht.

Über 100 Jahre ist es her, dass Protonen und Elektronen als Bausteine der Materie entdeckt wurden und dass Niels Bohr sein Atommodell vorschlug, in dem die negativ geladenen Elektronen um einen positiv geladenen Kern mit Protonen flitzen. Dennoch sind Forscher weit davon entfernt, erklären zu können, wie Elementarteilchen die festen, flüssigen und gasförmigen Stoffe bilden, die uns umgeben. Unablässig schieben sie die Grenzen des Erforschbaren hinaus, indem sie immer leistungsstärkere Teilchenbeschleuniger bauen, die neue Einblicke in den fundamentalen Aufbau der Materie ermöglichen.

„Wir wissen inzwischen, dass es noch kleinere Bausteine als Protonen im Atomkern gibt, nämlich die Quarks", sagt Prof. Dr. Ulrich Wiedner, Leiter des Bochumer Lehrstuhls für Experimentalphysik. „Drei Quarks bilden ein Proton – aber wie dieses einfachste zusammengesetzte Teilchen funktioniert, verstehen wir nicht." Die sogenannte starke Wechselwirkung bindet die drei Quarks im Proton. Verantwortlich dafür sind die Gluonen, eine weitere Sorte von Teilchen, die die Träger der starken Wechselwirkung sind. Aber wie genau es ihnen gelingt, die Quarks zusammenzuhalten, ist bislang ein Rätsel. Und diese Frage ist nicht das einzige Mysterium, das Teilchenphysiker im Hinblick auf das Proton umtreibt. Denn unklar ist auch, woher dieses eigentlich seine Masse bekommt.

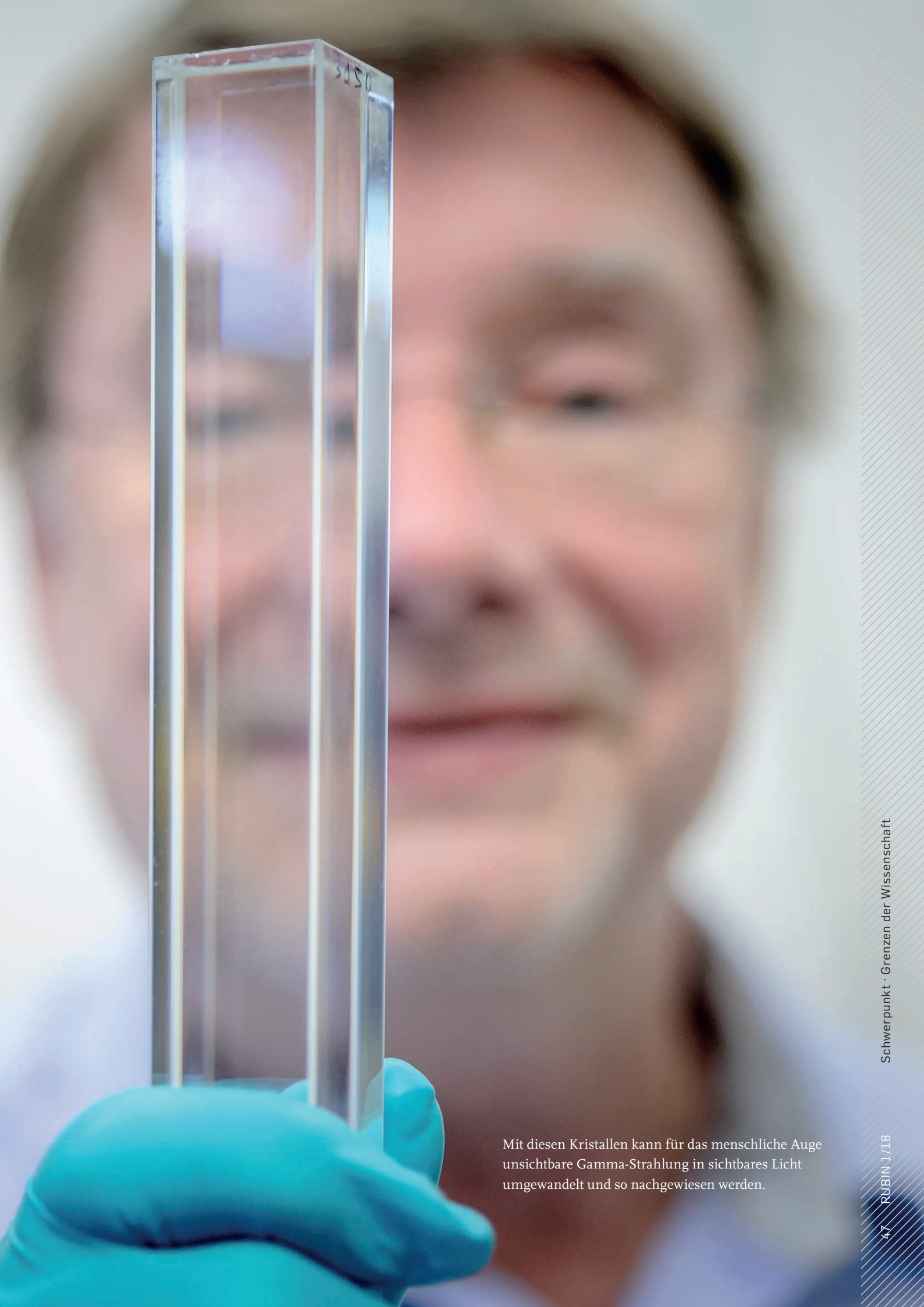
Intuitiv würde man annehmen, dass die Masse der drei Quarks zusammengenommen die Masse des Protons ergibt. Aber die Quarks wiegen insgesamt gerade einmal 17 Mega-Elektronenvolt, eine vereinfacht ausgedrückte Einheit, mit der Physiker das Gewicht von Teilchen angeben. Ein Proton hingegen bringt 938 Mega-Elektronenvolt auf die Waage. „Das Proton ist also rund 55-mal schwerer als die Massen seiner drei Quarks zusammengenommen", verdeutlicht Wiedner. „Die restliche Masse muss aus der starken Wechselwirkung kommen. In ihr steckt sehr viel Energie." Und Energie ist quasi Masse, wie Einstein mit seiner berühmten Gleichung $E=mc^2$ feststellte.

Um das Proton zu verstehen, müssen die Teilchenphysiker die starke Wechselwirkung genauer ergründen. Ein Schritt dorthin führt über die Vervollständigung des Teilchenzoos. Hunderte von Teilchen sind mittlerweile entdeckt, und ähnlich wie Naturwissenschaftler die chemischen Elemente im Periodensystem anordneten, sortieren die Teilchenphysiker die Bausteine der Materie, um basierend auf der Ordnung ein Verständnis des großen Ganzen zu erlangen. In einem an die 2.000 Seiten dicken Buch, dem „Review of Particle Physics", sind alle bislang entdeckten Teilchen und ihre Eigenschaften aufgeführt und sortiert. „Das ist sozusagen unsere Bibel", überspitzt Wiedner. Hier und da klaffen aber Lücken in den Tabellen. Der Forscher erklärt: „Manche Teilchen sind im Moment nur theoretisch vorhergesagt – danach suchen wir im Experiment, um unser Bild von den fundamentalen Bausteinen der Materie komplett zu machen."

Verschiedene Forschungsgruppen weltweit sind mit der Suche befasst. An Beschleunigern lassen sie Teilchen mit großen Energien aufeinanderprallen und beobachten, welche neuen Teilchen bei den Kollisionen entstehen. Ulrich Wiedners Team ist in das BES-III-Experiment am chinesischen „Beijing Electron Positron Collider" involviert. Als Teil eines internationalen Konsortiums versuchen die Bochumer, bislang unbekannte Teilchen aufzuspüren, die neue Erkenntnisse über die starke Wechselwirkung zutage fördern könnten. Rund fünfmal pro Jahr reist Ulrich Wiedner selbst nach China; immer wieder sind auch Studierende seines Lehrstuhls vor Ort, um ein paar Wochen an der Datenaufzeichnung mitzuwirken. Der Beschleuniger läuft 24 Stunden am Tag und bis auf die notwendigen Zeitfenster für die Wartung auch das ganze Jahr hindurch. Unaufhörlich prallen Elektronen mit hoher Bewegungsenergie auf ihre Antiteilchen, die Positronen. „Energie wird dabei in Masse umgewandelt, und wir schauen, in welche", erklärt Wiedner.

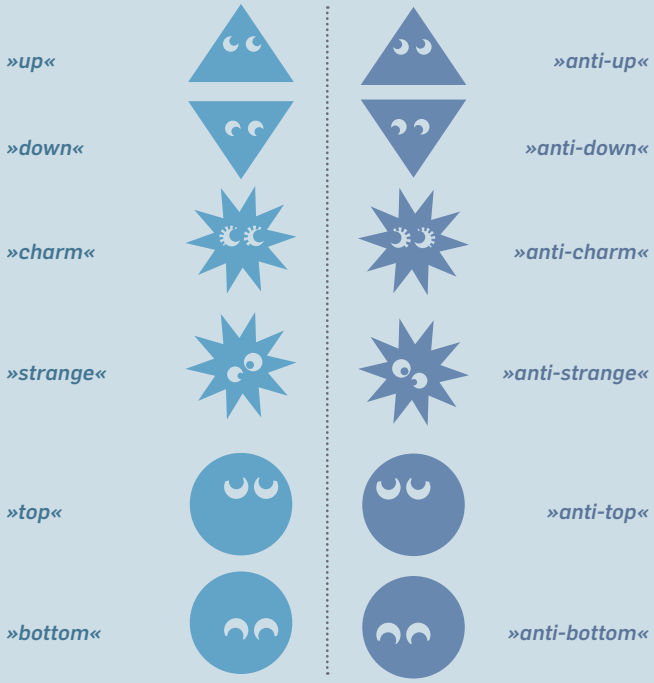
Im Lauf der Zeit – das BES-III-Experiment begann 2011 – ist das Forschungskonsortium auf einige merkwürdige Teilchen gestoßen; das erste davon tauchte 2013 auf. „Wir haben einen exotischen Zustand gefunden, den wir vorher noch nie in unseren Daten gesehen hatten", erinnert sich Wiedner. Es handelte sich um ein Z^+-Teilchen, von dem mittlerweile weitere Vertreter nachgewiesen wurden, auch in Experimenten an anderen Beschleunigern.

Welche Struktur das von ihnen entdeckte Z^+-Teilchen hat, können die Forscher nur vermuten. „Wir wissen, aus welchen Quarks es aufgebaut ist, weil wir diese in weiteren Zerfällen nachweisen konnten", erläutert Wiedner. Sechs Sorten von Quarks gibt es generell: Sie tragen die Namen Up, Down, Charm, Strange, Top und Bottom. Zusätzlich gibt es die sechs ▸

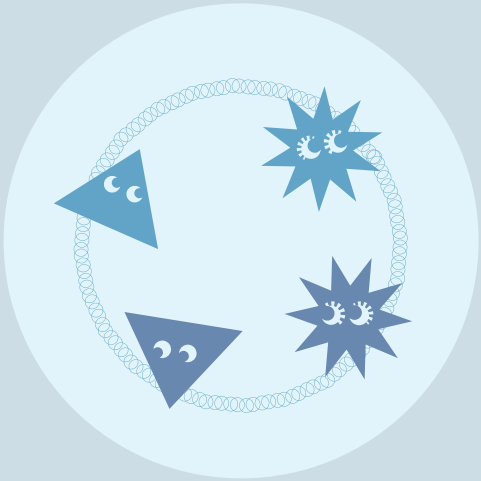


Mit diesen Kristallen kann für das menschliche Auge unsichtbare Gamma-Strahlung in sichtbares Licht umgewandelt und so nachgewiesen werden.

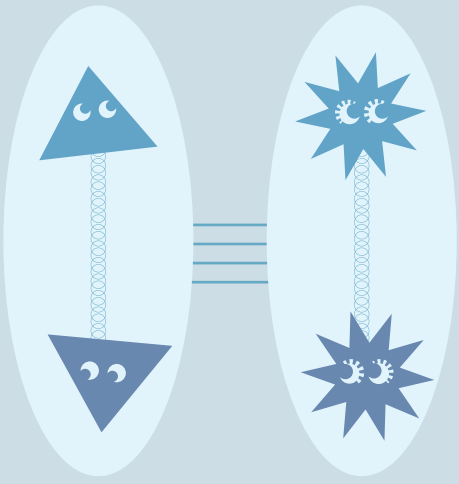
*Es gibt sechs Arten von **Quarks** sowie entsprechenden **Anti-Quarks**.*



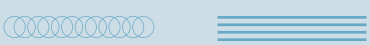
*Das **Z^+-Teilchen** könnte ein **Vier-Quark-Zustand** sein.*



*Das **Z^+-Teilchen** könnte ein **Molekül** sein.*



FORMEN DER STARKEN WECHSELWIRKUNG



zugehörigen Antimaterie-Teilchen: das Anti-Up-Quark, das Anti-Down-Quark und so weiter. In dem merkwürdigen Zustand fanden die Physiker ein Charm- und ein Anti-Charm-Quark sowie ein Up- und ein Anti-Down-Quark. Daraus lassen sich zwei hypothetische Strukturen konstruieren: Bei dem Z^+-Teilchen könnte es sich um einen Vier-Quark-Zustand handeln, in dem die Quarks über die starke Wechselwirkung zusammengehalten werden. Es könnte sich aber auch um ein Molekül handeln, in dem die vier Quarks in zwei Zweiergruppen vorliegen, die – ähnlich wie in einem chemischen Molekül – aneinandergebunden sind. In einer Gruppe wären das Charm- und das Anti-Charm-Quark enthalten, in der anderen Gruppe das Up- und das Anti-Down-Quark; dazwischen gäbe es eine noch unbekannte Art von Bindung.

Neue Form der starken Wechselwirkung

„Die Molekülbindung von dieser Art von Teilchen, den Mesonen, wäre eine völlig neue Form der starken Wechselwirkung“, beschreibt Wiedner. „Wenn wir sie detailliert beschreiben könnten, würde uns das wieder einen Schritt beim Verständnis der starken Wechselwirkung weiterbringen – und damit auch bei der Frage, wie Quarks in Protonen zusammengehalten werden und wie Protonen ihre Masse erhalten.“ Ideen, wie man zwischen dem Molekül- und dem Vier-Quark-Zustand unterscheiden kann, haben die Forscherinnen und Forscher bereits. Sie wollen sie unter anderem an einem neuen Beschleuniger testen, der derzeit in Darmstadt entsteht: der „Facility for Antiproton and Ion Research“, kurz FAIR. Dort wird das „Panda“-Experiment laufen; der Name steht für „Anti-Proton Anihilation at Darmstadt“. Bis die Anlage läuft, dauert es aber noch fünf bis sechs Jahre. So lange suchen die Wissenschaftler am chinesischen Beschleuniger weiter nach unbekannten Teilchen und versuchen, die Eigenschaften der neu entdeckten Vertreter genauer zu bestimmen.

Neben den merkwürdigen Z^+-Teilchen entdeckten sie inzwischen auch ähnliche, aber ungeladene Zustände, die X- und Y-Teilchen. Auch diese sind im Vergleich zu zuvor beschriebenen Materiebausteinen sonderbar, zum Beispiel weil sie eine besonders lange Lebensdauer besitzen. Die X-, Y- und Z^+-Teilchen sind dabei nicht die einzigen ungewöhnlichen Materiezustände, denen Ulrich Wiedner auf der Spur ist. Mit dem neuen Experiment am FAIR-Beschleuniger möchte er auch die Struktur von derzeit nur theoretisch vorausgesagten Teilchen, den Gluebällen, ergründen. Sie bestehen ausschließlich aus Gluonen, den Trägern der starken Wechselwirkung.

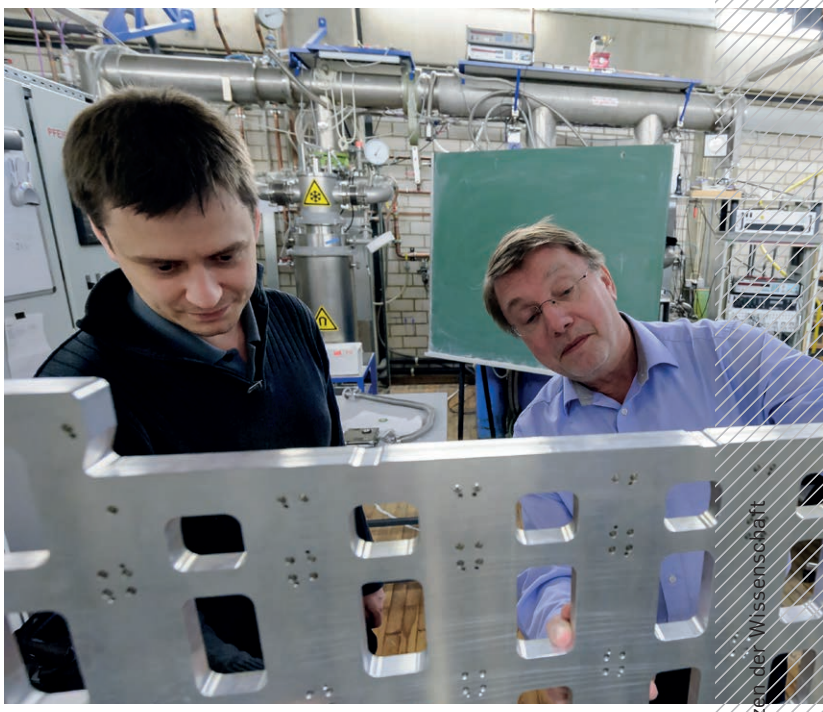
„Die Struktur von Gluebällen zu verstehen wäre ein Traum“, sagt der Forscher. Anders als der Name suggeriert, glaubt er nicht, dass sie rund wie eine Kugel sind. In einer theoretischen Arbeit schlug Wiedner mit Kollegen vor, dass Gluebälle die Form eines in sich verdrehten oder verknoteten Donuts haben könnten. Dass die Gluebälle existieren, da ist sich der Physiker einigermaßen sicher. „Wir haben mit dem Experiment in China ein Teilchen gefunden, das Eta-1405, das ein heißer Kandidat für einen Glueball ist“, erzählt er. Bewiesen ist das zwar noch nicht. „Aber wir arbeiten daran“, so Wiedner. Besonders hoch ist die Motivation dafür, weil ein Nachweis der

Gluebälle nicht nur für das Verständnis der starken Wechselwirkung interessant wäre. Es gibt auch eine Verbindung zur Stringtheorie – also zu der Theorie, die die bislang nicht zu vereinende Gravitationslehre mit dem Standardmodell der Teilchenphysik in Einklang bringen könnte. „Die Stringtheorie macht bestimmte Vorhersagen für Gluebälle“, erklärt Wiedner. „Wenn wir Gluebälle fänden und diese Vorhersagen testen könnten, wäre es das erste Mal, dass wir Teile der Stringtheorie experimentell überprüfen könnten.“

Bis es so weit ist, wird womöglich noch etwas Zeit ins Land ziehen. Aber Ulrich Wiedner ist zuversichtlich: „Wenn man weiß, wonach man suchen muss, kann es manchmal ganz schnell gehen“, sagt er. Das heißt: Wenn ein Glueball nachgewiesen ist, könnte in kurzer Zeit ein ganzes Spektrum von Gluebällen in den Daten auffindbar sein. Dabei können auch neue Experimente am FAIR-Beschleuniger helfen, an denen die Bochumer Forscher beteiligt sein werden. Derzeit sind sie aber erst einmal damit beschäftigt, Teile für den FAIR-Detektor zu bauen. „Als Teilchenphysiker braucht man eben Geduld“, weiß Wiedner.

Text: jwe, Fotos: rs

Ulrich Wiedners Team analysiert nicht nur Daten von Experimenten an Teilchenbeschleunigern. Die RUB-Gruppe baut auch Hardware für neue Beschleuniger. Hier zu sehen ist ein Haltegestell für 3.856 Bleiwolframat-Kristalle des Kalorimeters vom „Panda“-Experiment, das künftig am FAIR-Beschleuniger zum Einsatz kommt.



Das Bochumer Team, hier im Bild Malte Albrecht (links) und UIrich Wiedner, baut ein Kalorimeter, das Photonen, also Lichtteilchen, nachweisen kann. Dazu wird der Korpus des Kalorimeters mit speziellen Kristallen aus Bleiwolframat bestückt.

ANTITEILCHEN

INFO

Nach dem Standardmodell der Teilchenphysik gibt es zu jedem bekannten Elementarteilchen auch ein Antiteilchen. Ein Teilchen hat stets die gleiche Masse, die gleiche Lebensdauer und den gleichen Spin wie sein Antiteilchen. Auch einige andere Eigenschaften sind identisch. Ein paar Charakteristika sind allerdings genau entgegengesetzt, etwa das magnetische Moment oder die Ladung. Hat das Teilchen, zum Beispiel ein Elektron, negative Ladung, so hat das Antiteilchen, in diesem Fall das Positron, eine positive Ladung.

SO FUNKTIONIERT EIN TEILCHENDETEKTOR

↗ *news.rub.de/teilchenzoo*

Bewegungswissenschaft

RÄTSELHAFTE MUSKELKRAFT

Warum gedehnte Muskeln so stark sind.

Sich mit einem schweren Rucksack auf dem Rücken hinzusetzen ist möglich. Aber wie kommt man dann wieder hoch? Zumeist nicht ohne Hilfe. Hinter diesem alltäglichen Phänomen steckt für Bewegungswissenschaftler wie Prof. Dr. Daniel Hahn und sein Team ein Rätsel. Die gängige Theorie zur Muskelkraft kann es nicht erklären.

Der Grund für die unterschiedlich starke Kraft, die ein Muskel erzeugen kann, liegt in seiner Dehnung. Viele Bewegungen, zum Beispiel das Gehen, basieren darauf, dass Muskeln immer wieder gedehnt werden, bevor sie sich aktiv zusammenziehen. „Wenn ich ein Gewicht hochhebe, zieht sich der entsprechende Muskel zusammen, er kontrahiert konzentrisch", erklärt Daniel Hahn. „Wenn ich aber der Schwerkraft nachgebe, weil ich mich hinsetze oder eine Treppe hinuntergehe, wird der Muskel gedehnt. Trotzdem ist er angespannt, um die Bewegung zu kontrollieren. Wir sprechen dabei von der exzentrischen Kontraktion."

Experimente haben gezeigt, dass die Kraft, die bei exzentrischen Kontraktionen im Muskel erzeugt wird, größer ist als die Kraft, die bei der konzentrischen Kontraktion entsteht. Dabei wird auch noch weniger Energie verbraucht. „Warum das so ist, ist eine umstrittene Frage", so der Sportwissenschaftler. Um herauszufinden, worin dieser Unterschied begründet liegt, betrachteten Forscher zunächst nur den isolierten Muskel. Einzelne Muskelzellen, zum Beispiel von Ratten, werden dazu ohne und während Dehnung künstlich aktiviert. Es zeigte sich, dass unter diesen Bedingungen die Kraft des gedehnten Muskels 1,5- bis 2,5-mal so groß ist wie die des nicht gedehnten. Tests mit Versuchspersonen, die einen Hebel ziehen mussten, während eine Maschine diesen Hebel zurückzog und ihren Muskel dadurch dehnte, ergaben meistens ein anderes Ergebnis: Hier war die Kraft bei exzentrischer Kontraktion nicht oder kaum größer als bei der Kontraktion ohne Dehnung.

Da diese Ergebnisse nicht nur den Muskelexperimenten, sondern auch der alltäglichen Erfahrung mit exzentrischen Kontraktionen widersprachen, war das Forschungsinteresse geweckt. „Wenn wir vom Muskel beim Menschen sprechen, meinen wir eigentlich immer ein Ensemble, das auch die Sehnen, das Bindegewebe und die den Muskel ansteuernden Nerven umfasst", beschreibt Daniel Hahn. Um das Geheimnis der exzentrischen Kraft während Dehnung beim Menschen zu enträtseln, müssen die Forscher jede dieser Komponenten betrachten.

Ultraschall macht Muskelfasern sichtbar

„Erhöhte Muskelkräfte können nur dann auftreten, wenn die Muskelfasern selbst gedehnt werden", erläutert Daniel Hahn. „Beuge ich mein Knie, während ich eine Treppe hinuntergehe, so kann die Muskeldehnung des Oberschenkels allerdings von den elastischen Sehnen gepuffert werden, ohne dass die Muskelfasern gedehnt werden". Das würde auch erklären, warum in vielen Experimenten mit Versuchspersonen keine erhöhten exzentrischen Kräfte gefunden wurden. Um sicherzustellen, dass die Muskelfasern bei den eigenen Experimenten gedehnt werden, verwendeten Hahn und sein Team vom Lehr- und Forschungsbereich Bewegungswissenschaft deshalb Ultraschall. Ultraschall ermöglicht es, die Muskelfasern während der Kontraktion sichtbar zu machen und somit zu überprüfen, ob diese wirklich gedehnt werden. Mithilfe dieser Technik gelang es schließlich nachzuweisen, dass die Versuchspersonen bei exzentrischer Kontraktion immerhin 1,2- bis 1,4-mal so viel Kraft aufbringen konnten wie bei der Kontraktion ohne Dehnung. Und nicht nur das: Auch nach Ende der Dehnung, wenn die Probanden den Muskel weiter anspannten, blieben die Kräfte um etwa zehn Prozent erhöht.

Die Rolle der Nervenzellen

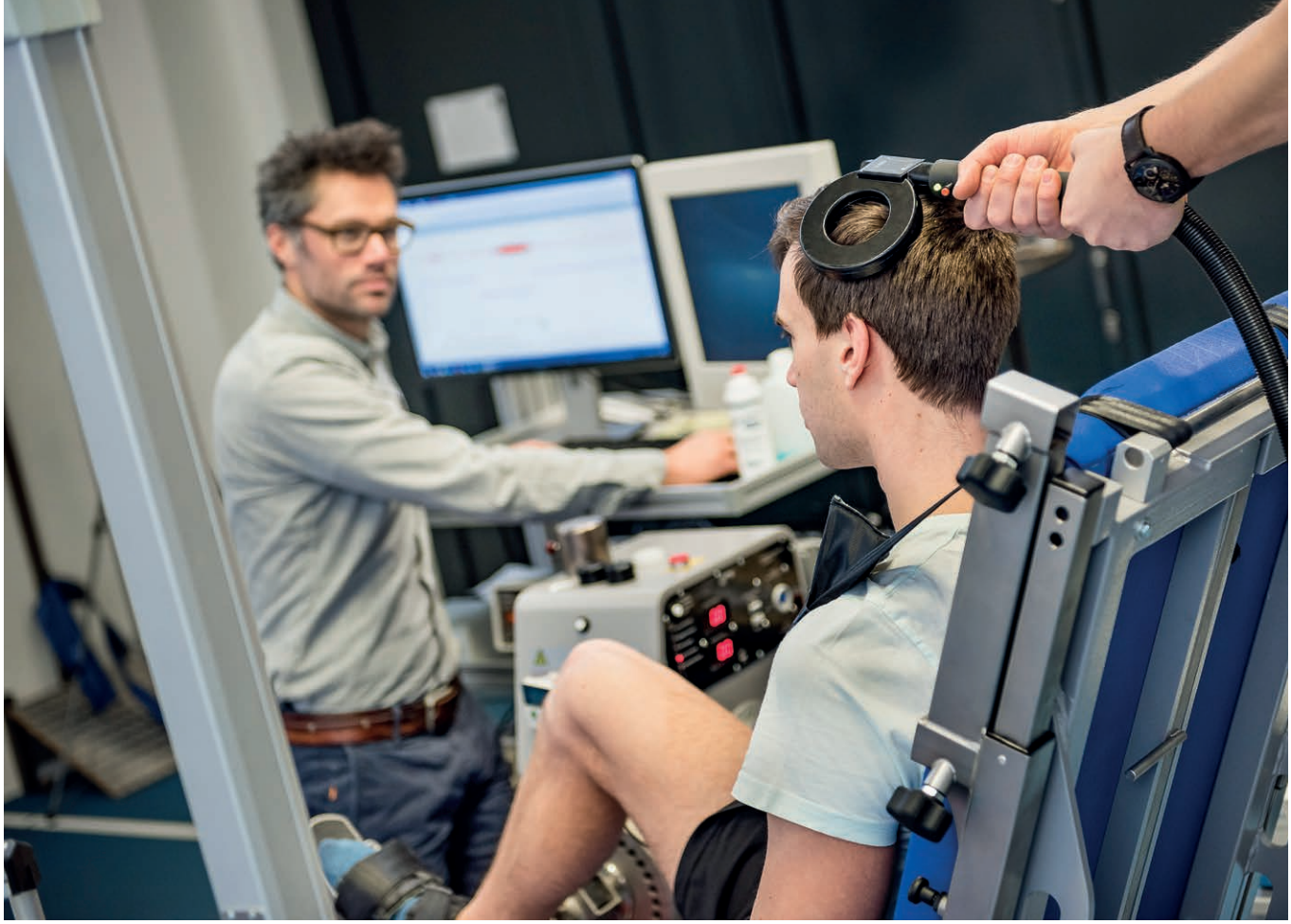
Zusätzlich konzentrierten sich die Forscher um Hahn auf die neuronalen Aspekte der Muskelbewegungen, also auf die Steuerung der Muskelaktivität ausgehend vom Gehirn über das Rückenmark und die entsprechenden Nervenbahnen. Die Signale laufen immer in beide Richtungen: motorische Signale vom Gehirn zum Muskel, sensorische Signale vom Muskel zum Gehirn. Diese Signale und ihre Auswirkungen untersuchten die Forscher mit verschiedenen Experimenten. Sie maßen die Muskelaktivität in nicht gedehntem und gedehntem Zustand nicht nur, wenn die Probanden den Muskel willentlich anspannten, sondern auch, wenn der Muskel zusätzlich durch elektrische Stimulation am Nerv oder am Rückenmark oder durch transkranielle Magnetstimulation zur Kontraktion gebracht wurde. Dabei werden direkt durch die Schädeldecke hindurch mit einer Magnetspule die Gehirnbereiche des motorischen Cortex stimuliert, die für die Aktivierung ganz bestimmter Muskeln zuständig sind.

Da sich die Muskelkraft bei exzentrischer Kontraktion bei ▸

> „WENN WIR VOM MUSKEL BEIM MENSCHEN SPRECHEN, MEINEN WIR EIGENTLICH IMMER EIN ENSEMBLE."
>
> *Daniel Hahn*

Elektroden, die auf die Haut geklebt werden, können den darunterliegenden Muskeln das Signal geben, sich zusammenzuziehen, oder umgekehrt die Muskelaktivität bei willentlicher Anstrengung messen.

Daniel Hahn (links) und Doktorand Frank Schulz werten die Messdaten aus den Experimenten aus.



Ohne dass der Proband sich willentlich anstrengt, spannen sich seine Beinmuskeln an. Die Muskelaktivität und die dabei von den Muskeln ausgeübte Kraft werden gemessen.

lebenden Organismen im Gegensatz zu isolierten Muskelzellen weniger verstärkt, lag die Vermutung nahe, dass die Nerven die Kraft hemmen. „Das war aber in unseren Experimenten nicht nachweisbar“, berichtet Daniel Hahn. Die Forscher stellten allerdings fest, dass die Nervenzellen im Gehirn nach der Dehnung eines Muskels, während die Probanden die Anspannung noch hielten, leichter erregbar waren als ohne Dehnung. Dahinter könnte sich einer von vielleicht mehreren Faktoren verbergen, der zur Kraftverstärkung nach Dehnung führt. Warum die Erregbarkeit höher ist, ist bislang unklar.

Verdächtig: das Protein Titin

Mit Blick auf den Muskel selbst haben Hahn und seine Kollegen einen anderen Verdacht, was für die verstärkte Kraft bei Dehnung mitverantwortlich sein könnte: ein Protein namens Titin. Die Kontraktion des Muskels beruht darauf, dass in den Muskelzellen zwei sich überlappende Proteine – das dünne Filament Aktin und das dicke Filament Myosin – ineinandergleiten. Dadurch verkürzt sich der Muskel. Dieser Prozess ist seit 1957 in der sogenannten Querbrückentheorie beschrieben. Erst knapp 20 Jahre später wurde allerdings ein drittes Muskelprotein entdeckt, das Titin. „Man hatte es zuvor übersehen. Interessanterweise nicht, weil es so klein, sondern weil es so groß ist“, so Hahn. Das Titin könnte wie eine molekulare Feder funktionieren, die als Gegenpart oder Ergänzung zur Kontraktion in der Muskelzelle wirkt. Experimente haben gezeigt, dass diese Feder ihre Eigenschaften dynamisch verändert, bei Dehnung des Muskels also steifer wird. Das würde dazu führen, dass mit weniger Energiezufuhr eine größere Kraft zustande käme. Die Bochumer Arbeitsgruppe wird diesen Fragen weiter auf den Grund gehen, ab 2018 in einem neuen, von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt. Darin geht es um die Frage, welchen Anteil an der Kraftverstärkung bei und nach exzentrischer Kontraktion Nervensystem, Sehnen und Muskeln selbst haben.

„Die Ergebnisse sind nicht nur für die Grundlagenforschung oder die Leistungssteigerung im Sport interessant, sondern auch für Fragen der Prothetik und Robotik“, sagt Daniel Hahn. Studien amerikanischer Forscher haben gezeigt, dass ein Exoskelett, das das Bein mit einer äußeren Federung unterstützte, eine Energieeinsparung beim Gehen von sieben Prozent erlaubte. Mit genauerer Kenntnis der neuromuskulären Mechanismen wäre es denkbar, solche Unterstützungssysteme immer weiter zu verfeinern und an die natürlichen Bewegungsabläufe zum Beispiel beim Gehen anzupassen. Eine Feder, die ihre Eigenschaften verändert, zum Beispiel nach Bodenkontakt der Ferse härter und später wieder weicher wird, könnte es dann geschwächten oder verletzten Personen ermöglichen, eigenständig mobil zu bleiben. „Je mehr wir über die Details der komplexen Bewegungsabläufe wissen, desto besser können wir auch künstliche Systeme bauen, die zum Beispiel Körperteile ersetzen“, so Hahn mit Blick auf die Zukunft. „Prothesen könnten dann natürlicher bewegt werden und einen runden Gang ermöglichen.“

Text: md, Fotos: dg

Jura

SAUBERES GELD AUS DER CASINO-WÄSCHEREI?

Ob der deutsche Glücksspielsektor für kriminelle Machenschaften attraktiv ist, hat ein Bochumer Jurist untersucht – und dafür selbst auch mal auf ein paar Pferde gesetzt.

Spielhallen und Casinos haftet oft der Ruf des Anrüchigen an – egal ob es die wild blinkende Automatenlandschaft ist oder die glamourös daherkommende Glitzerwelt mit Roulette und Black Jack. Sind diese Orte, an denen so viel Geld die Besitzer wechselt, nicht die perfekte Tarnung für kriminelle Energien? So wie Hollywood es gern auch mal in Filmen verkauft? „Sowohl in den Medien als auch in der juristischen Fachliteratur liest man häufig von Geldwäsche im Glücksspielbereich“, erzählt Johannes Güldner, Doktorand am Lehrstuhl für Öffentliches Recht, insbesondere Verwaltungsrecht. Ob Spielbanken oder Spielhallen, Sportwetten und Pferdewetten oder Lotterie – es gibt keinen Glücksspielbereich, der nicht mit Geldwäsche in Verbindung gebracht wird. „Bislang ist aber nicht umfassend untersucht, welche Risiken für Geldwäsche in diesen Bereichen tatsächlich bestehen“, sagt der Bochumer Jurist, der diese Lücke mit seiner Doktorarbeit schließen will.

Er unterscheidet dabei zwei Arten von Geldwäsche, je nachdem ob Spieler oder Betreiber von Glücksspieleinrichtungen die Täter sind. Im ersten Fall missbraucht ein Spieler das Glücksspiel, um illegal erlangtes Geld wieder für den legalen Finanzverkehr nutzbar zu machen. Im zweiten Fall gründet die kriminelle Person einen Spielbetrieb, um Geld zu waschen – ähnlich wie einer von Amerikas berühmt-berüchtigtsten Verbrechern es tat. „Der Begriff Geldwäsche kommt aus dem Englischen, es ist eine Eins-zu-eins-Übersetzung von Money Laundering“, erklärt Johannes Güldner. „Er geht auf Al Capone und seine Kollegen zurück, die eine Waschsalonkette gegründet haben sollen, um kriminell erlangtes Geld zu waschen.“

Ob die verschiedenen Arten von Glücksspiel in Deutschland einladend für Spieler- oder Betreibergeldwäsche sein könnten, hat Güldner systematisch untersucht – anhand von Literatur- und Internetrecherchen, durch Vor-Ort-Besichtigungen, Fragebögen für Behördenvertreter und Interviews mit Betroffenen aus der Glücksspielbranche. Seine Ergebnisse verglich er anschließend mit der Situation in Nevada, speziell Las Vegas, und Singapur, die zu den Top Ten der Glücksspielzentren weltweit gehören. „Ich habe mir alle Glücksspielbereiche in Deutschland separat angeschaut, allerdings nur die landgebundenen Formen, nicht die Internetangebote“, so Johannes Güldner. Dazu gehörten auch praktische Erfahrungen. „Bis auf Lotterie habe ich alle Formen des Glücksspiels selbst ausprobiert, um mit den Abläufen vertraut zu werden“, erzählt er. Er setzte auf Pferde auf der Galopprennbahn, versuchte sein Glück am Automaten in der Spielhalle, zog den Anzug an für eine Runde Roulette im Casino und wettete auf den Ausgang von Fußballspielen. „Natürlich habe ich nur kleine Beträge eingesetzt und das mit meinen privaten Mitteln finanziert, nicht mit Forschungsgeldern“, erzählt er. „Am Ende kam ich ungefähr plus/minus null heraus.“ Geld gab es also keins zu gewinnen mit der Doktorarbeit, aber dafür jede Menge Erkenntnisse.

Zunächst verglich Johannes Güldner das Geldwäscherisiko in deutschen Spielhallen und Spielbanken, wobei Letztere sich durch ein eleganteres Flair auszeichnen und dadurch, dass es auch klassisches Tischspiel wie Black Jack oder Roulette gibt; in Spielhallen gibt es hingegen nur Automaten.

Das Risiko für Spielergeldwäsche in Spielbanken schätzt Güldner nach seiner Analyse als gering ein. „Theoretisch denkbar wäre es, dass ein Spieler sein illegal erlangtes Geld in Jetons umtauscht, um eine kleine Summe spielt und die Jetons dann wieder in sauberes Geld zurücktauscht“, erklärt der Jurist. Allerdings, so recherchierte er, erhalten Spielerinnen und Spieler bei der Auszahlung an der Kasse keine Quittung. „Man bekommt in der Regel nur Bargeld und keinen Beleg darüber, dass das Geld aus einer legalen Quelle stammt“, weiß er. Für den Geldwäscher ergibt sich dadurch ▸

In seiner Doktorarbeit analysiert Jurist Johannes Güldner, welche Glücksspielbetriebe wirklich für Geldwäsche ausgenutzt werden können und welchen nur ein schlechter Ruf anhaftet.

also kein Vorteil. Auch eine Auszahlung auf ein Konto ist in Deutschland – anders als in Nevada und Singapur – normalerweise nicht möglich.

Ein weiterer Faktor, der das Risiko für Spielergeldwäsche in Deutschland im Vergleich zu Nevada und Singapur senkt, ist, dass die Spielbanken sehr übersichtlich sind. In der Regel bestehen sie aus nur einem großen Raum, den das Personal gut im Blick hat. Am Eingang wird der Ausweis aller Gäste kontrolliert. Die Umsätze in deutschen Spielbanken sind zudem geringer als in Singapur und Las Vegas, wo die Casinos teils Services wie Kreditinstitute anbieten – auch das macht sie für Geldwäscher attraktiver. Allerdings bauen die ausländischen Glücksspielzentren auf andere Weise vor: In Singapur, wo es überhaupt erst seit 2010 zwei Casinos gibt, existiert ein umfassendes Regelwerk zur Geldwäscheprävention. In den USA ist das System der Videoüberwachung extrem gut ausgebaut. „Natürlich werden aber auch deutsche Spielbanken per Kamera überwacht", ergänzt Güldner. Das Personal sorgt dafür, dass die Kameras auf jede Transaktion einen freien Blick erhalten. „Jetons und Geldscheine dürfen nie direkt von Hand zu Hand gereicht werden, gerade in Nevada wird darauf extrem geachtet", erzählt der Doktorand. „Bevor das Personal Geld oder Jetons aufnimmt, werden die Scheine und Spielmarken aufgefächert, sodass die Kamera sie alle erfassen kann." Theoretisch lasse sich so jede getätigte Transaktion im Nachhinein rekonstruieren.

Auch gegen Betreibergeldwäsche sind deutsche Spielbanken nach Johannes Güldners Einschätzung weitestgehend immun. Die Hürden, um eine Spielbank zu eröffnen, sind hoch: Das Antragsverfahren ist kompliziert und mit verschiedenen Prüfungen versehen, man braucht ein hohes Startkapital. In einigen deutschen Bundesländern wie Nordrhein-Westfalen gibt es sogar ein staatliches Monopol, die Spielbanken können also nur vom Land betrieben werden. Ihre Anzahl ist generell klein: In Niedersachsen – und das ist der Maximalwert für ein deutsches Bundesland – gibt es gerade einmal zehn von ihnen. „Ich halte es daher für nahezu ausgeschlossen, dass jemand eine Spielbank zum Zweck der Geldwäsche gründet, die Hürden sind einfach zu hoch", folgert Güldner. „Spielhallen kämen da schon eher in Betracht". Denn Automatenhallen sind wesentlich zahlreicher, das Antragsverfahren ist nicht so kompliziert und der finanzielle Aufwand überschaubarer. „Hier könnte es sich lohnen, die Antragsverfahren zu überarbeiten, also genauer zu schauen, wo die Gelder für die Gründung herkommen, um Betreibergeldwäsche mithilfe von Spielhallen einen Riegel vorzuschieben", meint der Bochumer Forscher. Spielergeldwäsche hält er in Spielhallen jedoch für ebenso unwahrscheinlich wie in Spielbanken. Denn auch hier erhalten die Gäste am Ende ihres Besuchs nur Bargeld ohne Beleg zurück.

Geldwäsche bei Sportwetten kaum vermeidbar

Ein Risiko für Spielergeldwäsche sieht Johannes Güldner hauptsächlich im Sportwettenbereich und bei bestimmten Formen der Pferdewette – nämlich dann, wenn auf Festquoten gewettet werden kann. Wer hier Geld einsetzt, erhält darüber eine Quittung. Und mit der sogenannten Arbitrage-Methode ist es möglich, die Mittel so einzusetzen, dass man garantiert 90 Prozent oder mehr davon zurückgewinnt. Das gesamte illegal erlangte Geld wäre gewaschen und der Verlust gering. Güldner gibt ein Beispiel: „Bei einer Fußballbegegnung kann man auf drei Fälle setzen: Einen Sieg der Heimmannschaft, einen Sieg der Auswärtsmannschaft oder ein Unentschieden", sagt er. „Man kann jeweils einen Teil seines Geldes bei drei verschiedenen Wettbüros einsetzen und bei jedem auf einen anderen Ausgang tippen." Bestimmte mathematische Methoden helfen dabei, das Geld so zu verteilen, dass der potenzielle Verlust möglichst gering ist. Bei zwei Wettbüros würde der Spieler Verlust machen, bei einem aber beträchtlichen Gewinn, sodass er am Ende nahezu die gleiche Summe herausbekommt, die er eingesetzt hat – mit einem Beleg darüber, dass das Geld legal gewonnen wurde.

„Die Arbitrage-Methode birgt wohl das größte Risiko für Spielergeldwäsche im Glücksspielbereich", lautet das Fazit von Johannes Güldner. „Maßnahmen dagegen zu ergreifen ist nahezu unmöglich, denn in der Praxis lässt sich nicht verhindern oder kontrollieren, ob ein Spieler bei mehreren Wettbüros tippt." Hinzu kommt, dass der Markt für Sportwetten unübersichtlich ist, weil auch Anbieter mit Firmensitz im EU-Ausland in Deutschland entsprechende Einrichtungen betreiben. Allerdings, so fand Güldner heraus, fallen auch landgebundene Sportwettbüros von EU-ausländischen Anbietern unter das deutsche Geldwäschegesetz. In der Praxis bedeutet das, dass diese Wettbüros verpflichtet sind, Geldwäsche-Verdachtsfälle zu melden.

Generell bezeichnet Güldner das Risiko, den deutschen Glücksspielbetrieb für Spieler- oder Betreibergeldwäsche zu missbrauchen, aber als mäßig. Es gebe zwar durchaus Möglichkeiten. „Allerdings wäre es oft wohl leichter, das Geld außerhalb der Glücksspielbranche zu waschen", meint er.

Text: jwe, Fotos: Tim Kramer

WIR HABEN

BOCK AUF BOCHUM

Mehr Infos unter:
www.stadtwerke-bochum.de

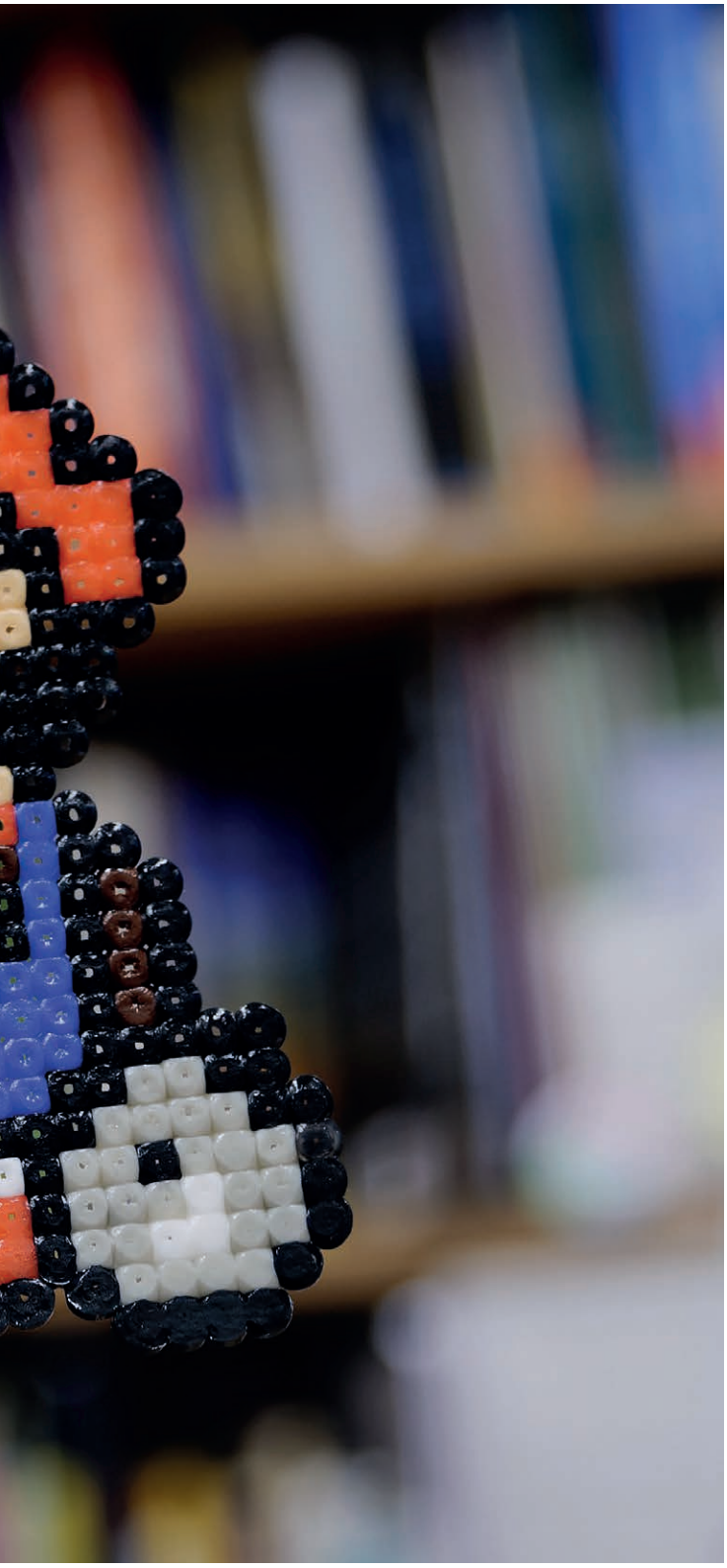
STADTWERKE
BOCHUM

INSPIRIERT VON **SUPER MARIO** UND CO.

Was die Kartografie von der Spieleindustrie lernen kann.

Seine Fangemeinde ist groß: Millionen haben in den 1990er-Jahren Super Mario durch seine virtuelle Welt gelenkt.

Millionen Kinder und Erwachsene haben es in den 1990er-Jahren gespielt: Super Mario World. Hochspringen, laufen, Kämpfe ausfechten, Hilfsmittel finden, Levels durchlaufen, das alles absolvierten die Spielerinnen und Spieler in einer virtuellen Welt, in der sie sich intuitiv oder durch kurze einleitende Sequenzen zurechtfanden. Dass diese ganze Welt auf einer zweidimensionalen Karte basierte, fiel kaum auf, weil erste Tricks Tiefe vortäuschten.



Erst Jahre später entdeckte die Forschung das Thema animierte Karten und ihr Potenzial für sich. „Weil in der Spieleindustrie viel Geld steckt, haben die Hersteller Möglichkeiten, Dinge auszuprobieren, die wir in der Wissenschaft nicht haben", erklärt Dr. Dennis Edler von der Arbeitsgruppe Geomatik am Institut für Geographie der Ruhr-Universität. Er arbeitet an der Schnittstelle zwischen Computerspielen und moderner Kartografie und analysiert, welche Kniffe sich die Spielehersteller einfallen lassen, um verschiedene Probleme zu lösen oder unterschiedliche Dinge darzustellen. Immer mit dem Hintergedanken, was sich davon nutzen lässt, um andere Anwendungen zu verbessern. Dazu gehören zum Beispiel Geoinformationssysteme oder Karten für Fluglotsen.

Zurück in die Super Mario World: Schon diese virtuelle Welt hatte das Problem, dass Inhalte der zugrunde liegenden Karte bei Bewegung der Figur an den Rändern aus dem Blickfeld des Spielers verschwanden. Was, wenn hier wichtige Informationen enthalten sind, die der Spieler sich beim ersten Anschauen nicht gemerkt hat? Die Macher von Super Mario World lösten das Problem, indem sie es dem Spieler ermöglichten, sich frei zu bewegen und Gebiete der Karte auch mehrmals zu besuchen.

Was, wenn zu viele Details den Nutzer überfrachten, und er oder sie gar nicht mehr weiß, wohin zuerst schauen? Die Lösung: Akustische Signale wie ein kurzes Piepen ertönen beim Erscheinen bedeutender Punkte wie etwa einer Wegkreuzung. Ein einfaches Farbschema und übersichtliche Inhalte helfen dabei, den Überblick zu behalten.

Immer mehr neue Tricks

Vertrauen in die – Anfang der 1990er-Jahre noch ungewohnte – animierte Karte entsteht dadurch, dass der Nutzer zu Beginn des Spiels eine kurze Einführung durchläuft, die die Möglichkeiten der Interaktion transparent macht. „Auch um die zweidimensionale Darstellung plastisch und lebendig wirken zu lassen, ließen sich die Spieleentwickler etwas einfallen", so Dennis Edler. „Super Mario bewegt sich zum Beispiel im Vordergrund schneller als die Wolken im Hintergrund." Dadurch entsteht ein Eindruck von Tiefe. Eine weitere Neuerung war die zeilenweise Veränderung von Position und Größe dargestellter Gegenstände, die ebenfalls zu einem Tiefeneffekt führt.

Spätere Spiele fügten immer neue Tricks hinzu. Um dem Nutzer von Computer-Fußballspielen zum Beispiel einen Überblick über das gesamte Spielfeld zu gewähren, während er hauptsächlich die Perspektive seines Protagonisten einnahm, wurde eine kleine Gesamtübersicht am Rand des Monitors eingeblendet. „Wenn der Torwart einen Ball gehalten hat und ihn wieder ins Spiel bringen soll, kann er sonst ja gar nicht wissen, wo welcher Spieler steht", erläutert Dennis Edler. Eine ähnliche Gesamtübersicht findet sich bei Autorennspielen, in denen die Spieler die subjektive Sicht des jeweiligen Fahrers teilen, zeitgleich aber die ganze Rennstrecke am Rand des Monitors eingeblendet bekommen.

Einem anderen Problem sahen sich die Programmierer von Echtzeit-Strategiespielen gegenüber, in denen die Spieler eine ▸

Dennis Edler und Frank Dickmann (rechts) wollen wissen, wie man Nutzern helfen kann, sich besser in Karten zurechtzufinden.

Landschaft zunächst erkunden müssen. Hier würde durch eine Gesamtübersicht einer Karte zu viel Information vorweg gegeben. „Die noch nicht erkundeten Gebiete lassen die Macher deswegen in einem sogenannten fog of war, einer Nebelwand, verschwinden“, so Dennis Edler. Übertragen auf Systeme für das wirkliche Leben sieht er diese Technik als nützlich an, um die Sicht des Kartennutzers auf das Wesentliche zu beschränken. „Bei Karten für Fluglotsen oder auch Hilfsdienste in Katastrophengebieten könnte das sinnvoll sein.“

Um auszutesten, welche Anwendungen der Spieleindustrie für die Kartografie nutzbringend sein könnten, nahm sich das Team der Arbeitsgruppe Geomatik die Technik hinter den Egoshooter-Spielen vor, die sogenannten Engines. Diesen Code stellten die verantwortlichen Unternehmen der Entwicklerszene zur Verfügung. Auf dieser Basis programmierten die Forscher ihr Gebäude NA auf dem RUB-Campus, sodass man sich darin nun mit einer Virtual-Reality-Brille bewegen kann.

Hohe Rechenleistung erforderlich

„Ausgeweitet auf den gesamten Campus wäre das in Zukunft vielleicht eine gute Sache für Leute, die die RUB zum ersten Mal besuchen wollen und sich vorab orientieren könnten“, meint Prof. Dr. Frank Dickmann, Leiter der Arbeitsgruppe. „Die Architektur des Campus, bei der sich alle Gebäude mehr oder weniger ähnlich sind, macht es verhältnismäßig einfach, ausgehend von einem Gebäude auch die anderen darzustellen.“ Derzeit steht einer breiteren Nutzung allerdings noch die enorme Rechenleistung im Wege, die die Darstellung eines Spaziergangs in einer dreidimensionalen virtuellen Welt erfordert.

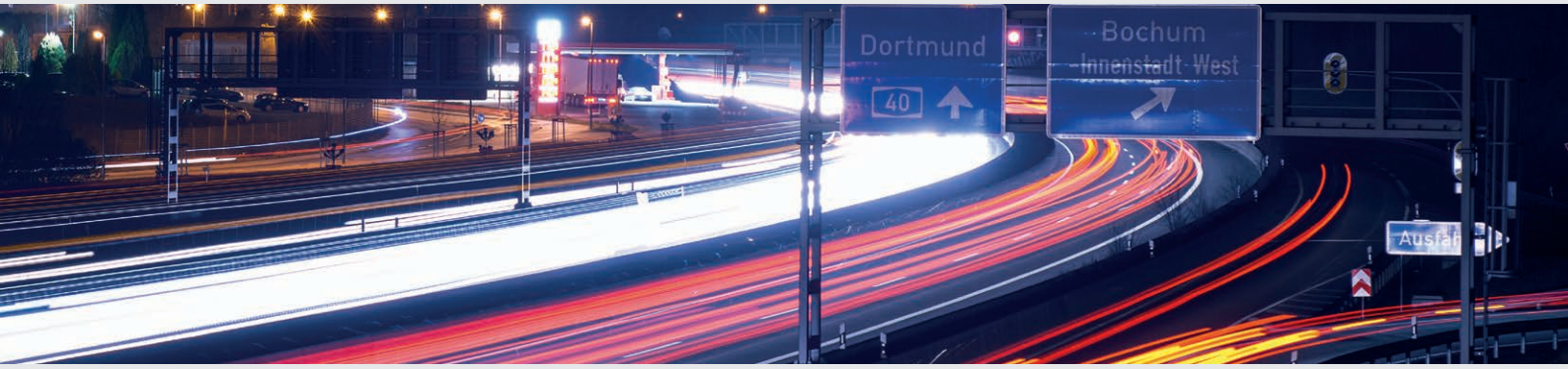
Um herauszufinden, welche Animation welchen Einfluss auf die räumliche Orientierung hat, planen die Forscher im nächsten Schritt Nutzerstudien. Dabei geht es darum, was eher unterstützend wirkt und was eher ablenkt oder stört. In einer Vorstudie testeten sie schon die Wirkung von plastisch hervorgehobenen Straßen mithilfe von 3D-Monitoren. „Es hat sich gezeigt, dass Nutzer sich in Karten besser orientieren konnten, wenn die Straßen hervorgehoben sind, weil die Karte dann stärker strukturiert wirkt“, erklärt Frank Dickmann. Auch die redundante Codierung von Informationen ist hilfreich, zum Beispiel die Darbietung von Ortsnamen in Textform und zusätzlich gesprochen als Hörinformation. „Der Blick auf Computerspiele deckt für uns immer neue Techniken auf, deren Nutzen für Anwendungen in der Kartografie wir dann wissenschaftlich überprüfen können“, fasst Dennis Edler zusammen.

Text: md, Fotos: rs

Big Data

VERLÄSSLICHE STAUPROGNOSE FÜR JEDES WETTER

Unmengen Verkehrsdaten werden täglich gesammelt. Ein Bochumer Projekt macht sie jetzt nutzbar.



Schon wieder Stau – auf dem Weg zur Arbeit oder nach Hause oder in die Ferien lassen Millionen Autofahrer täglich Nerven. Um Staus zu vermeiden, müssen Verkehrsspezialisten sie erst einmal verstehen und vorhersagen können.

Daten darüber sind reichlich vorhanden. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) stellt mit seiner Plattform mCLOUD einen großen Datenschatz zur Verfügung: Sie enthält Informationen, welche Straßen, Schienen oder Seewege wann wie stark ausgelastet sind. Unterschiedliche Dateiformate und Sortierungen verhindern aber bisher, dass diese riesige Datenmenge sinnvoll nutzbar ist. Eine einfache, homogenisierte Schnittstelle ist daher das Ziel des Projekts „Offene Plattform für fortschrittliche Verkehrsprognosen aus heterogenen Daten“, kurz OPA_TAD des Bochumer Instituts für Technologie (BO-I-T). Forscherinnen und Forscher, Unternehmen und Nichtregierungsorganisationen sollen damit die offenen und privaten Informationen der Plattform datenschutzkonform auswerten und eigene Daten hochladen können.

Das ermöglicht es diesen Akteuren zum Beispiel, Anwendungen im Mobilitätsbereich zu entwickeln, etwa um Verkehrsunternehmen zu helfen, ihre Flotten zu optimieren. Erste Anwendung wird eine Stauprognose sein, die unter anderem Wetter, Tageszeit, Wochentag und Ereignisse wie Feiertage einbezieht.

Das Bundesverkehrsministerium fördert das Projekt, an dem neben BO-I-T das Institut für Informatik der Hochschule Bochum sowie die Unternehmen Old World Computing und Secunet beteiligt sind.

Um das Thema Big Data dreht sich auch das Innovationsforum „Data Science Ruhrgebiet“ am 5. und 6. Juli 2018 in Bochum. Hier gibt es mehr Beispiele für die Nutzung von Big Data und die Möglichkeit zum Netzwerken.

↗ *www.bo-i-t.de/projekte/innovationsforum-data-science-ruhrgebiet*

BO-I-T

INFO

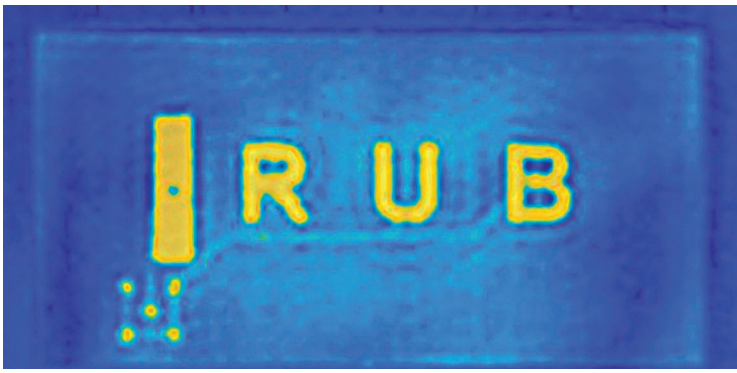
Das Bochumer Institut für Technologie, gegründet von Unternehmen, Hochschulen und der Stadt Bochum, arbeitet an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Ziel ist es, wissenschaftliche Erkenntnisse aus der Region für die wirtschaftliche Wertschöpfung zu nutzen. Das interdisziplinäre Team des Instituts stößt Forschungsprojekte an und setzt sie um, bringt Partner zusammen und moderiert. So soll die Innovationsfähigkeit des Ruhrgebiets steigen.

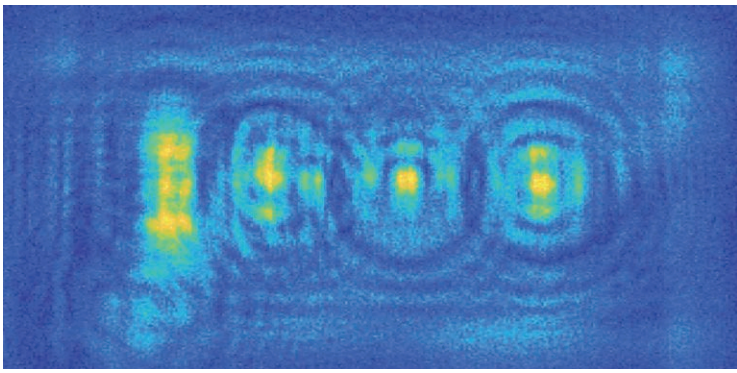
↗ *www.bo-i-t.de*

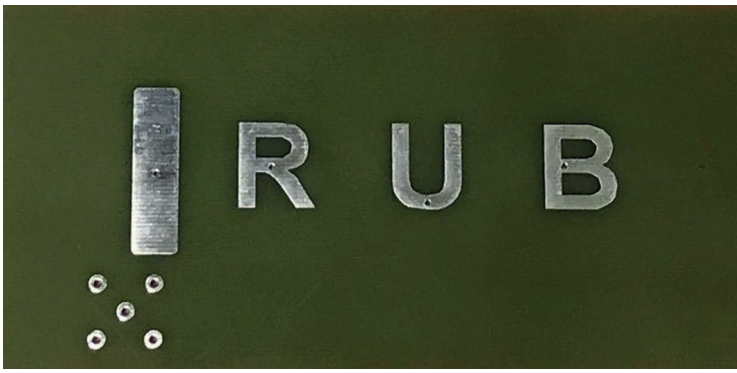
REDAKTIONSSCHLUSS

Mit Radartechnik kann man durch Wände schauen und Unsichtbares sichtbar machen. Zeichnet man ein Radarbild auf, ist es allerdings, als würde man mit einer Kamera fotografieren, der die Linse zum Fokussieren fehlt. Die Fokussierung erfolgt nachträglich im Computer. Dafür braucht es spezielle Algorithmen, so wie Dr. Jan Barowski sie während seiner Doktorarbeit am Lehrstuhl für Hochfrequenzsysteme entwickelt hat. Das obere Motiv zeigt das mit Barowskis Algorithmen korrigierte Radarbild einer Platine mit dem Schriftzug „RUB“. Die Originalplatine ist ganz unten zu sehen. Das mittlere Bild zeigt die unkorrigierte Rohversion des Radarbildes. Im fokussierten Bild kann man in Hellblau sogar die Leiterbahnen sehen, die auf der Rückseite der Platine vom Koaxialstecker (fünf gelbe Punkte) zu den Buchstaben verlaufen. (Aufnahmen: Jan Barowski)

news.rub.de/radar-bildgebung







IMPRESSUM

HERAUSGEBER: Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT: Prof. Dr. Gabriele Bellenberg (Philosophie und Erziehungswissenschaften), Prof. Dr. Astrid Deuber-Mankowsky (Philologie), Prof. Dr. Reinhold Glei (Philologie), Prof. Dr. Achim von Keudell (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Michael Hübner (Elektrotechnik/Informationstechnik), Prof. Dr. Denise Manahan-Vaughan (Medizin), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Andreas Ostendorf (Prorektor für Forschung, Transfer und wissenschaftlichen Nachwuchs), Prof. Dr. Michael Roos (Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Martin Tegenthoff (Medizin), Prof. Dr. Michael Wala (Geschichtswissenschaft)

REDAKTIONSANSCHRIFT: Dezernat Hochschulkommunikation, Abteilung Wissenschaftskommunikation, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, Fax: 0234/32-14136, rubin@rub.de, news.rub.de/rubin

REDAKTION: Dr. Julia Weiler (jwe, Redaktionsleitung); Meike Drießen (md)

FOTOGRAFIE: Damian Gorczany (dg), Hofsteder Str. 66, 44809 Bochum, Tel.: 0176/29706008, damiangorczany@yahoo.de, www.damiangorczany.de; Roberto Schirdewahn (rs), Offerkämpe 5, 48163 Münster, Tel.: 0172/4206216, post@people-fotograf.de, www.wasaufdieaugen.de

COVER: Agentur der RUB

BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS: Teaserfotos für die Seiten 12, 24, 58: Roberto Schirdewahn; Teaserfoto für Seite 18: Fotolia, Oticki; Teaserfoto für Seite 28: Damian Gorczany; Teaserbild für Seite 34: ESO/IDA/Danish 1.5 m/R. Gendler and J.-E. Ovaldsen; Teaserfoto für Seite 54: Tim Kramer

GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ: Agentur der RUB, www.rub.de/agentur

DRUCK: VMK Druckerei GmbH, Faberstraße 17, 67590 Monsheim, Tel.: 06243/909-110, www.vmk-druckerei.de

AUFLAGE: 4.500

ANZEIGENVERWALTUNG UND -HERSTELLUNG: VMK GmbH & Co. KG, Faberstraße 17, 67590 Monsheim, Tel.: 06243/909-0, www.vmk-verlag.de

BEZUG: RUBIN erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation (Abteilung Wissenschaftskommunikation) der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter rubin.rub.de/abonnement.

ISSN: 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren

MAKE PEOPLE WOW.

Festanstellung, Ausbildung, duales Studium oder Praktikum – bewerben Sie sich jetzt!

Menschen in der ganzen Welt mit innovativem Entertainment begeistern? Dafür arbeiten wir zusammen in der Gauselmann Group! Familiengeführt und mit einem Geschäftsvolumen von über 2,5 Milliarden Euro sind wir europaweit führend in Entwicklung, Herstellung und Vertrieb elektronischer Spielgeräte mit und ohne Geldgewinnmöglichkeit. Dieser Erfolg beruht vor allem auf der Kreativität, Flexibilität und Leistungsbereitschaft unserer weltweit rund 12 500 motivierten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Sie sind interessiert? Dann besuchen Sie uns unter **www.gauselmann.de** oder wenden Sie sich direkt an Ihre Ansprechpartnerin:

Lena Seifert
05772 49-345
bewerbung@gauselmann.de

GAUSELMANN GROUP

KONGRESS DATA SCIENCE RUHRGEBIET

DATENGETRIEBENE INNOVATIONEN FÜR DEN MITTELSTAND

Freuen Sie sich auf zwei Kongresstage mit praxisbezogenen Vorträgen und Lösungen für KMU, Tech-Demos & Workshops zu aktuellen technologischen Entwicklungen.

05. – 06. Juli 2018, jeweils ab 09 Uhr
Rotunde Bochum · Konrad-Adenauer-Platz 3 · 44787 Bochum

KOSTENLOSER EINTRITT

Tickets unter **www.data-science.ruhr**

VERANSTALTER

BO·I·T Bochumer Institut für Technologie

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Innovationsforen Mittelstand