

munDO

Das Wissenschaftsmagazin
der Technischen Universität Dortmund



International forschen

Teilchen auf der Spur

Dr. Chris Malena Delitzsch sucht am größten Teilchenbeschleuniger der Welt in der Schweiz nach neuer Physik.

Seite 32

Blick in die Blackbox

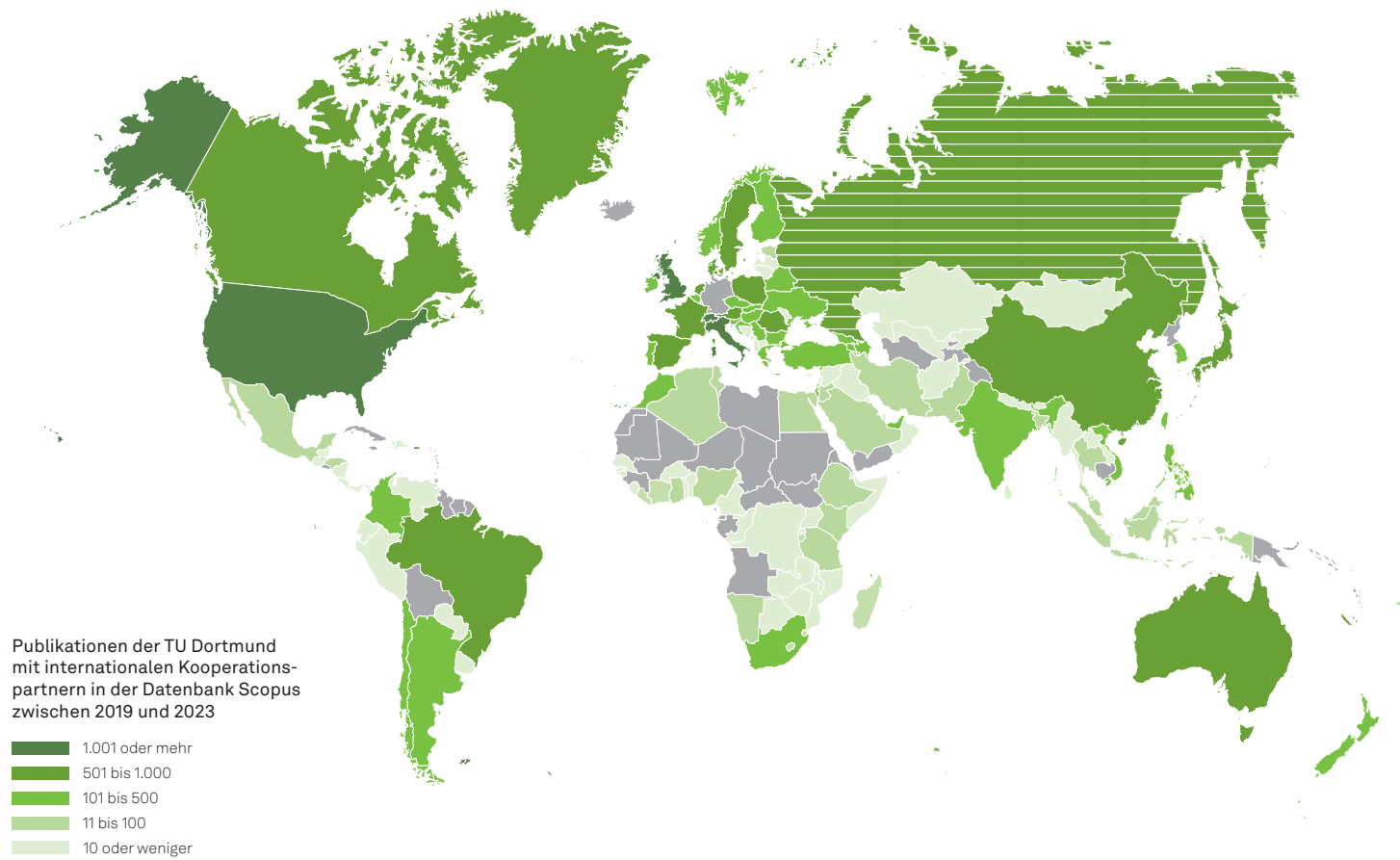
Prof. Daniel Neider arbeitet mit einem internationalen Team daran, Künstliche Intelligenz vertrauenswürdig zu machen.

Seite 42

Fakten gegen Fakes

Das Institut für Journalistik forscht in einem europaweiten Netzwerk, das Des- und Falschinformation bekämpfen will.

Seite 54



Mit gemeinsamer Forschung zum Erfolg

Hinter manchen der rund 10.000 in der Datenbank Scopus aufgelisteten Publikationen stehen bilaterale Kooperationen mit nur einem Partner aus einem anderen Land. Hinter anderen verbergen sich Großforschungsprojekte, bei denen für eine einzige Publikation mehr als Tausend Autor*innen aus über 40 Ländern genannt sind. Für Autor*innen der TU Dortmund sind die USA, Großbritannien, die Schweiz und Italien die wichtigsten Partnerländer. China und Japan sind bedeutende Forschungspartner in Asien, in Lateinamerika ist es Brasilien und auf dem afrikanischen Kontinent sind es Südafrika und Marokko. Durch das Einfrieren der Kooperation mit russischen Partnern seit dem Angriff auf die Ukraine im Frühjahr 2022 ist ein starker Rückgang bei den gemeinsamen Publikationen mit Russland erkennbar.

Liebe Leser*innen,

seit genau 20 Jahren erscheint das Forschungsmagazin der TU Dortmund unter dem Namen mundo, lateinisch für in der Welt. Und genau dort verortet sich die Universität sowohl in der Forschung als auch in der Lehre: in der internationalen Welt der Wissenschaft. Wissenschaftler*innen aller Fakultäten kooperieren in ihrem Forschungsalltag regelmäßig mit Arbeitsgruppen aus aller Welt. Allein für die vergangenen fünf Jahre findet die Datenbank Scopus rund 10.000 Publikationen, die TU-Mitglieder gemeinsam mit internationalen Partner*innen veröffentlicht haben – siehe Grafik links.

Forschung ist oftmals dann besonders erfolgreich, wenn Teams aus unterschiedlichen Ländern und Disziplinen zusammenarbeiten. Um weitere internationale Kooperationen anzubahnen, ist die TU Dortmund mit Verbindungsbüros an unterschiedlichen Orten auf der Welt präsent: Gemeinsam mit der Universitätsallianz Ruhr betreiben wir ein Büro für Nordamerika sowie eines für Osteuropa und Zentralasien. Im Juli wurde zusammen mit fünf weiteren NRW-Hochschulen ein Verbindungsbüro in Ghana eröffnet, um auch vermehrt Kontakte auf dem afrikanischen Kontinent zu erschließen.

Internationale Forscher*innen, die nicht nur über Kooperationen mit unserer Universität verbunden sind, sondern auch hier vor Ort tätig werden wollen, begrüßen wir über verschiedene Gastprogramme: Seit 30 Jahren unterstützt das *Gambinus Fellowship* Aufenthalte renommierter internationaler Wissenschaftler*innen an der TU Dortmund. Ziel des *Visiting Professor & Visiting Scholar Program* ist es indes, Gäste aus dem Ausland zu gewinnen, um die Internationalität der Lehre zu fördern. Unmittelbar nach dem Angriff auf die Ukraine im Februar 2022 ist ein Gastprogramm gestartet, das geflüchteten Wissenschaftler*innen einen Aufenthalt an der TU Dortmund ermöglicht. Jedes Jahr erkunden internationale Promovierende und Postdocs als *Research Explorers Ruhr* zwei Wochen lang das Ruhrgebiet. TU-Promovierende können

wiederum für einzelne Vorträge und Workshops im Rahmen der *tu.hosts* internationale Wissenschaftler*innen einladen.

Der Ausbau der englischsprachigen Lehre ist eines der zentralen Ziele unserer *Internationalisierungsstrategie*. Von den aktuell elf englischsprachigen Masterstudiengängen sind allein fünf seit 2020 entstanden. Diese Angebote werden von internationalen Studierenden besonders geschätzt, aber auch heimische Studierende können sich damit optimal für eine Karriere in der Wissenschaft oder in einem international tätigen Unternehmen aufstellen. Schon heute beträgt der Anteil der internationalen TU-Studierenden und Promovierenden 16 Prozent. Diesen Anteil möchten wir in Zukunft weiter steigern.

Die vielfältigen internationalen Projekte sowohl unserer Forschenden als auch der Studierenden präsentieren wir alle zwei Jahre bei der *Global Gallery*. Seit 2021 werden außerdem die *Internationalisierungspreise* in den Kategorien Lehre, Forschung, Verwaltung und Transfer verliehen. Mit dem *Rudolf Chaudoire-Preis* werden seit 1995 hervorragende Nachwuchswissenschaftler*innen geehrt, denen ein Forschungsaufenthalt an einer ausländischen Universität oder Forschungseinrichtung ermöglicht werden soll.

Die Internationalität ist auch thematischer Schwerpunkt dieser mundo-Ausgabe. In den zehn Beiträgen im Heft geht es um internationale Kooperationen mit bis zu mehreren Tausend Partner*innen, um Wissenschaftler*innen, die aus dem Ausland kommen und an der TU Dortmund forschen, um Projekte, die mit europäischen Drittmitteln gefördert werden, und natürlich um die Forschung an den großen gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit, die wahrlich keine Grenzen kennen.

Wir wünschen Ihnen eine spannende und gewinnbringende Lektüre!

Prof. Nele McElvany,
Prorektorin Forschung

Prof. Tessa Flatten,
Prorektorin Internationales

Dortmund, August 2023



In dieser Ausgabe

Kurz berichtet
Seite 6

Titelthema: International forschen

Lösungsmittelforschung zwischen Chile und dem Ruhrgebiet
Prof. Gabriele Sadowski, Dr. Christoph Held und Nicolás Gajardo von der Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen untersuchen im Exzellenzcluster RESOLV, wie Lösungsmittel-effekte die Biokatalyse effizienter machen können.
Seite 8

Auf die Dynamik kommt es an
Der Chemiker Prof. Rasmus Linser entwickelt die NMR-Spektroskopie weiter, um zu verstehen, wie sich Proteine bewegen. Der Europäische Forschungsrat fördert seine Arbeit mit einem ERC Consolidator Grant.
Seite 14

Beste Bedingungen für soziale Innovationen
Die großen gesellschaftlichen Herausforderungen sind durch technische Neuerungen allein nicht zu bewältigen. Die Sozialforschungsstelle erforscht daher mit internationalen Partnern soziale Innovationen in ganz Europa.
Seite 20

„Best experience of my life“
Die Physiker Prof. Johannes Albrecht und Prof. Kevin Kröniger arbeiten in der Forschung und bei der Ausbildung des Nachwuchses in internationalen Kooperationen. Mit ihren Angeboten begeistert die Fakultät zum Beispiel die Studierenden ihres internationalen Masterstudiengangs IMAPP.
Seite 26

Suche nach neuer Physik
Dr. Chris Malena Delitzsch forscht am ATLAS-Experiment am größten Teilchenbeschleuniger der Welt in der Schweiz. Ziel ihrer Forschung ist es, die Vorhersagen des Standardmodells der Teilchenphysik zu testen und Hinweise auf neue Physik zu finden.
Seite 32

Lego spielen mal anders
Prof. Angela Madeo von der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen untersucht in einem vom Europäischen Forschungsrat geförderten Projekt, wie sich neuartige Metamaterialien mit regulären Baustoffen kombinieren lassen.
Seite 36

Blick in die Blackbox
Prof. Daniel Neider von der Fakultät für Informatik arbeitet mit Kolleg*innen aus Deutschland, Frankreich, Indien und den USA daran, Künstliche Intelligenz vertrauenswürdig zu machen.
Seite 42

Statistik: Schlüssel zur Künstlichen Intelligenz
Prof. Nadja Klein forscht an der Schnittstelle von Statistik und Maschinellem Lernen. Sie entwickelt Modelle, mit denen etwa der australische Energiemarkt oder die Baumvielfalt in Singapur besser verstanden werden können.
Seite 48

Fakten gegen Fakes
Prof. Christina Elmer und Stephan Mündges vom Institut für Journalistik leiten das German-Austrian Digital Media Observatory – eines von 14 europäischen Zentren, die Des- und Falschinformation bekämpfen und untersuchen möchten.
Seite 54

Faszination Universum
Mit zwei großen Teleskopen auf La Palma erforscht die MAGIC-Kollaboration Teilchen, die aus dem Weltall auf die Erde kommen. Der Physiker Dr. Dominik Elsässer erklärt, wie Künstliche Intelligenz dabei helfen kann, das Universum besser zu verstehen.
Seite 60

mundorama

Gründungen aus der Wissenschaft
Digitale Hilfe bei der Grundstückssuche
Seite 66

Wissenschaft für Kinder – minimundo
Das Geheimnis des hebräischen Alphabets
Seite 68

Ausgezeichnet
Seite 70



Impressum

mundo – das Forschungsmagazin der Technischen Universität Dortmund

Herausgeber: TU Dortmund, Referat Hochschulkommunikation, 44227 Dortmund
Chefredaktion: Lena Reil
Kontakt zur Redaktion: Tel. 0231/755-5449, Mail: redaktion.mundo@tu-dortmund.de
V.i.S.d.P.: Eva Prost, Tel. 0231/755-2535, Mail: eva.prost@tu-dortmund.de

Redaktionelle Mitarbeit: Elena Bernard, Lisa Burgardt, Adriane Koller, Marlén Major, Hanna Metzen, Nele Nafé, Katrin Pinetzki, Lena Reil, Susanne Riese, Anna-Christina Senske, Christiane Spänhoff

Layout und Bildredaktion: Barbara Schulte-Linnemann

Wissenschaftlicher Beirat: Prof. Michael Henke, Prof. Nele McElvany, Prof. Claudia Gärtner, Prof. Henrik Müller, Prof. Christiane Pott, Prof. Daniel Rauh, Prof. Matthias Schneider, Prof. Petra Wiederkehr

Druck: LUC GmbH
Erscheinungsweise: zweimal jährlich



Neutrinos aus der Milchstraße nachgewiesen



Ein internationales Forschungsteam, an dem auch TU-Physiker*innen beteiligt sind, hat erstmals Neutrinos aus der Milchstraße nachgewiesen und die Ergebnisse im Juni in der Fachzeitschrift *Science* präsentiert. Mit dem IceCube-Neutrino-Observatorium am Südpol konnte zum ersten Mal ein Bild unserer Heimatgalaxie mithilfe von Neutrinos – sehr durchdringenden Elementarteilchen, die Zeugnis von extrem energiereichen Vorgängen ablegen – erstellt werden. Um die Neutrinos, die aus der Milchstraße stammen, aus allen Messwerten im Eis herauszufiltern, setzte das Team Methoden des Maschinellen Lernens ein, die an der TU Dortmund entwickelt wurden. Prof. Wolfgang Rhode und Doktorand Mirco Hünnefeld sind an der Forschung und Analyse sowie der Publikation maßgeblich beteiligt.

RESOLV: Jubiläum mit Nobelpreisträger



Das Exzellenzcluster „RESOLV – Ruhr explores solvation“ der TU Dortmund und der Ruhr-Universität Bochum hat sein 10-jähriges Bestehen gefeiert. Die rund 200 Mitglieder forschen zur Rolle von Lösungsmitteln in chemischen Reaktionen, industriellen Prozessen und biologischen Vorgängen. Den Wissenschaftler*innen ist es gelungen, die Solvatationsforschung zu einem eigenen Forschungsfeld zu etablieren. Den Festvortrag hielt RESOLV-Mitglied Prof. Benjamin List (l.). Der Direktor des Max-Planck-Instituts für Kohlenforschung in Mülheim an der Ruhr hatte 2022 den Nobelpreis für Chemie erhalten.

Forschung für ein klimaresilientes Europa

Unter der Leitung von Prof. Stefan Greiving und Prof. Thomas Hartmann von der Fakultät Raumplanung erforscht ein internationales Konsortium, wie private Grundstücke und Flächen



für klimaanpassende Maßnahmen genutzt und damit Klimarisiken verringert werden können. Im Projekt *LAND4CLIMATE* sollen bodenpolitische Maßnahmen und Geschäftsmodelle angewandt und

bewertet werden, die Privatleute motivieren und aktivieren könnten, selbst naturnahe Projekte umzusetzen. Zudem werden Behörden, Gemeinden und Landeigentümer*innen mit einbezogen. Die TU Dortmund arbeitet in dem Projekt, das von der EU mit 13 Millionen Euro gefördert wird, mit 16 Partner*innen aus sechs europäischen Ländern zusammen.

IGLU-Studie: Ergebnisse in Berlin präsentiert

Die mittlere Lesekompetenz von Viertklässler*innen in Deutschland ist weiter gesunken – zu diesem alarmierenden Ergebnis kommt die Internationale Grundschul-Lese-Untersuchung (IGLU) unter der Leitung von Prof. Nele McElvany. Seit 2001 untersucht die Studie alle fünf Jahre, wie sich die Lesekompetenz im internationalen Vergleich entwickelt. Zwar liegt Deutschland weiterhin im EU-Durchschnitt, doch der Trend weist seit 2006 abwärts: 25 Prozent der Schüler*innen blieb 2021 hinter dem Niveau zurück, das zum Lernen durch Lesen notwendig wäre. Zudem zeigen sich in Deutschland abhängig von der sozialen Herkunft und dem Migrationshintergrund der Kinder weiterhin starke Unterschiede bei der Leistung und der Gymnasialempfehlung.



Weitere 48 Mio. Euro für Research Alliance

Bei einem Treffen in Dortmund übergab Ina Brandes, NRW-Ministerin für Kultur und Wissenschaft, Ende 2022 einen Zuweisungsbescheid über 48 Millionen Euro für 2025 an die Hochschulleitungen der Universität Duisburg-Essen, Ruhr-Universität Bochum und TU Dortmund. 2021 gründeten die Universitäten unter dem Dach der Universitätsallianz Ruhr die Research Alliance Ruhr, in der derzeit vier Research Center und das College for Social Sciences and Humanities aufgebaut werden. Für die ersten vier Jahre hatte das Ministerium bereits 75 Millionen Euro zugewiesen. „Exzellente Wissenschaft braucht exzellente Ausstattung und Planungssicherheit. Deshalb freue ich mich, dass wir der Research Alliance Ruhr mit weiteren 48 Millionen Euro den Ausbau dieser einzigartigen Allianz dreier Univer-



sitäten im Ruhrgebiet ermöglichen“, sagte Ina Brandes – hier mit TU-Rektor Prof. Manfred Bayer (l.) und Kanzler Albrecht Ehlers (r.).

EU-Projekt zu selbstheilenden Batterien

Mit insgesamt rund 5,8 Millionen Euro fördert die EU das „Horizon Europe“-Projekt *HealingBat*. Prof. Stefan Palzer von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik koordiniert das Vorhaben, bei dem zehn Partner aus sechs europäischen Ländern zusammenarbeiten. Ziel ist es, eine neue Generation von Batterien zu entwickeln, die sich selbst reparieren können und somit langlebiger und nachhaltiger sind. In die neue Klasse selbstheilender Batterien auf der Basis von Lithium-Schwefel werden die Forscher*innen Sensoren einbetten, die möglichst frühzeitig Probleme detektieren sollen, sowie Aktoren, die dann die Selbstheilungsprozesse innerhalb der Batterie auslösen.



Humboldt-Professur an Prof. Narevicius verliehen

Prof. Edvardas Narevicius wurde im Mai die Alexander von Humboldt-Professur in Berlin verliehen. Mit dem hochdotierten Forschungspreis werden internationale Spitzenforscher*innen an deutsche Universitäten geholt: So war Narevicius 2022 vom Weizmann Institute of Science in Israel an die Fakultät Physik der TU Dortmund gewechselt. Er ist auch die erste internationale Berufung für die Research Alliance Ruhr, wo er am Research Center for Chemical Sciences and Sustainability forscht. Narevicius gilt weltweit als Vorreiter der Ultra-Tieftemperatur-Chemie: Er ist Pionier in der experimentellen Untersuchung von Quanteneffekten bei Molekülkollisionen, die sich erst nahe dem absoluten Nullpunkt nachweisen lassen.



Sommer der Künstlichen Intelligenz



Im Rahmen seiner KI-Sommertour besuchte BMBF-Staatssekretär Mario Brandenburg (vorne im Bild) gemeinsam mit MKW-Staatssekretärin Gonca Türkeli-Dehnert (5.v.l.) im Juli das Lamarr-Institut für Maschinelles Lernen und Künstliche Intelligenz an der TU Dortmund. Sie erhielten Einblicke in die Arbeit des Instituts und konnten Anwendungen der Künstlichen Intelligenz (KI) ausprobieren. Als internationales KI-Spitzenforschungsinstitut wird das Lamarr-Institut seit 2022 dauerhaft durch den Bund und das Land NRW gefördert. In dem Institut arbeiten die TU Dortmund, die Universität Bonn und die Fraunhofer-Institute für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS sowie für Materialfluss und Logistik IML zusammen.

A close-up photograph of a laboratory setting. A person wearing a white lab coat and a light blue surgical mask is using a pipette to transfer a bright blue liquid from a beaker into a petri dish. The person's hands are wearing blue nitrile gloves. The background is slightly blurred, showing other laboratory equipment and the person's face. The overall scene is brightly lit, emphasizing the blue color of the liquid and the gloves.

Lösungsmittelforschung zwischen Chile und dem Ruhrgebiet

Biokatalysatoren steuern chemische Reaktionen. Wie gut die Reaktion funktioniert, hängt jedoch auch von der Umgebung ab, in der die Reaktion stattfindet – dem Lösungsmittel. Prof. Gabriele Sadowski, Dr. Christoph Held und Nicolás Gajardo von der Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen untersuchen im international agierenden Exzellenzcluster RESOLV, wie Lösungsmittelleffekte die industrielle Nutzung von Biokatalyse effizienter machen können.

„Wir können nicht nur die chemische Reaktion optimieren, sondern zum Beispiel auch Lösungsmittel finden, die besonders günstig oder besonders umweltfreundlich sind.“

Dr. Christoph Held



Prof. Dr. Gabriele Sadowski ist seit 2001 Professorin für Thermodynamik an der Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen. Sadowski studierte Chemie an der Technischen Hochschule Leuna-Merseburg, wo sie 1991 auch promovierte. 1992 wurde sie wissenschaftliche Assistentin an der TU Berlin, im Jahr 2000 habilitierte sie sich dort und erhielt ein Jahr später den Ruf an die TU Dortmund. Für ihre Forschungsleistungen wurde Prof. Sadowski 2011 mit dem Gottfried-Wilhelm-Leibniz-Preis ausgezeichnet, dem höchstdotierten Forschungspreis Deutschlands. Seit 2012 forscht sie im Exzellenzcluster RESOLV. Sie ist außerdem Initiatorin und Sprecherin des neuen Forschungsbaus CALEDO, der aktuell an der TU Dortmund realisiert wird. 2022 wurde Sadowski in den Wissenschaftsrat der Bundesrepublik Deutschland berufen.



Dr. Christoph Held ist seit 2018 Akademischer Oberrat an der Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen. Er studierte Chemieingenieurwesen an der TU Dortmund und promovierte hier 2011 auf dem Gebiet der Thermodynamik. Für seine Dissertation erhielt er den europäischen EFCE-Preis für Thermodynamik und Transporteigenschaften. Seit 2012 leitet er die Arbeitsgruppe „Bioreactions and Biothermodynamics“. 2017 schloss er seine Habilitation ab. 2018 wurde er mit dem Arnold-Eucken-Preis für Verfahrenstechnik ausgezeichnet. Er forscht zur Thermodynamik biochemischer reaktiver Systeme, insbesondere zur Thermodynamik von enzymatisch katalysierten Reaktionen, zur Phasentrennung komplexer Medien und zu thermodynamischen Eigenschaften komplexer biologischer Gemische.

In Kürze

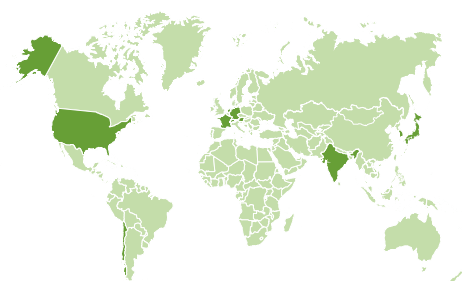
Das Problem

Biologische Katalysatoren haben das Potenzial, die Herstellung chemischer Produkte nachhaltiger und günstiger zu machen. Sie sind dafür jedoch momentan noch nicht stabil oder effizient genug.

Die Lösung

Im Exzellenzcluster RESOLV erforschen Wissenschaftler*innen sogenannte Lösungsmittelleffekte, die die Biokatalyse optimieren, und entwickeln maßgeschneiderte Lösungsmittel für die industrielle Anwendung.

Internationale Kooperation



Nicolás Gajardo-Parra ist seit 2020 Doktorand an der Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen. Er studierte Chemieingenieurwesen an der Päpstlichen Katholischen Universität von Chile und schloss dort 2018 mit einem Master of Science ab. Für seine Promotion in der Graduiertenschule des Exzellenzclusters RESOLV erhält er ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD). Seine Forschungsinteressen umfassen enzymatisch katalysierte Reaktionen, maßgeschneiderte Lösungsmittel und molekulardynamische Simulationen.

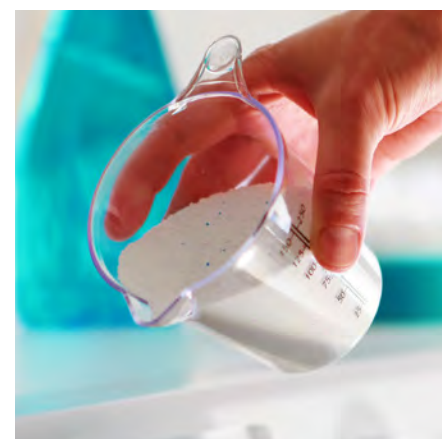
Die Arbeit in einem international agierenden Exzellenzcluster ist etwas Besonderes. Nicolás Gajardo ist Chemieingenieur und promoviert an der Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen der TU Dortmund im Rahmen des Exzellenzclusters RESOLV – einem Verbundprojekt, in dem die TU Dortmund mit vielen Forschenden vertreten ist. RESOLV zieht Wissenschaftler*innen aus der ganzen Welt an, die aus unterschiedlichen Disziplinen kommen, etwa Physik, Chemie oder Biochemie. „Als ich für meine Promotion aus Chile nach Deutschland kam, war ich im Bereich der chemischen Thermodynamik gut ausgebildet. Ich wusste allerdings nicht besonders viel über Enzyme, brauchte das Wissen aber für mein Projekt. Das interdisziplinäre Umfeld war deswegen sehr wichtig für mich“, sagt Gajardo. Überhaupt schätzt er den Austausch mit den anderen Forschenden: „Wenn ich Unterstützung brauche, zum Bei-

spiel bei einem Experiment, gibt es bei RESOLV immer Wissenschaftler*innen, die mir helfen können.“

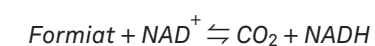
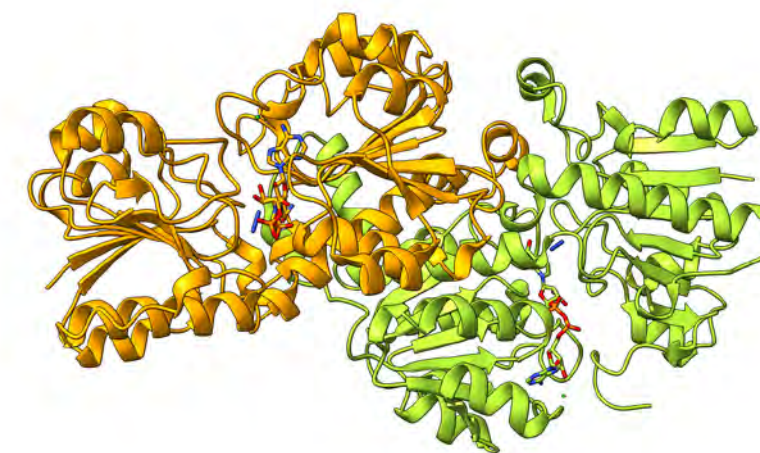
An der Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen forscht Gajardo in der Arbeitsgruppe „Bioreactions and Biothermodynamics“, die von Dr. Christoph Held geleitet wird. Gemeinsam mit anderen Mitgliedern von RESOLV untersucht Gajardo chemische Reaktionen, die mit Hilfe von Biokatalysatoren ablaufen. Katalysatoren setzen die Aktivierungsenergie herab und sorgen dafür, dass Stoffe bei geringerem Energieaufwand miteinander reagieren oder überhaupt eine Reaktion stattfindet. In der Biokatalyse übernehmen vor allem Enzyme diese Aufgabe – komplexe biologische Moleküle, die auch in der Natur chemische Reaktionen beschleunigen.

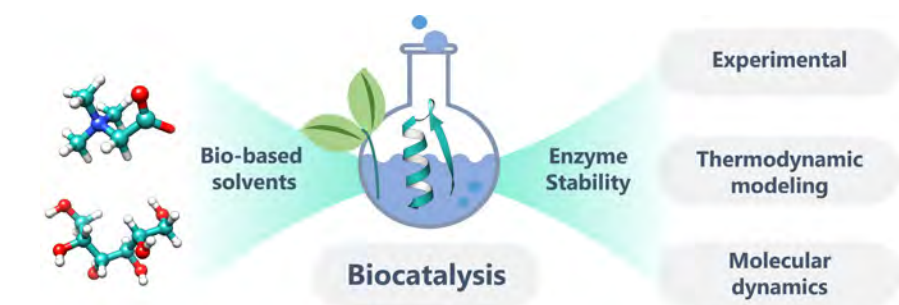
Gajardo interessiert sich besonders für ein Enzym – mit dem komplizierten

Namen *Candida boidinii* Formiat-Dehydrogenase, das Ameisensäure und NAD⁺ zu Kohlendioxid und zu dem wichtigen Cofaktor NADH umwandeln kann. Die Reaktion funktioniert in beide Richtungen. Sie kann sowohl zur Gewinnung von NADH genutzt werden, das für die Herstellung von Feinchemikalien und Medikamenten wichtig ist, als auch, um Kohlendioxid zu binden, das zum Beispiel bei Verbrennungsprozessen entsteht. Das Problem dabei: Das Enzym ist bei höheren Temperaturen nicht stabil genug und die Reaktion verläuft zu langsam. Beides verhindert bislang eine industrielle Anwendung. „Wir schauen uns daher an, wie die Reaktion optimiert werden kann“, sagt Gajardo. In der Natur passiert das zum Beispiel durch Osmolyte: lösliche Substanzen, die Teil des Reaktionsgemischs sind und einen Einfluss auf die Stabilität des Enzyms sowie auf die Geschwindigkeit und die Ausbeute der Reaktion haben.



Unten: Nicolás Gajardo erforscht *Candida boidinii* Formiat-Dehydrogenase. Das Enzym kann Ameisensäure und NAD⁺ zu Kohlendioxid und zu dem wichtigen Cofaktor NADH umwandeln.
Links: NADH wird unter anderem für die Herstellung von Feinchemikalien, etwa für Waschpulver und Medikamente, gebraucht.





Oben: Das Team um Prof. Gabriele Sadowski untersucht, wie neue Lösungsmittel den Biokatalyse-Prozess effizienter machen können, zum Beispiel indem sie die Stabilität des Enzyms beeinflussen. Dazu entwickeln sie thermodynamische Modelle und überprüfen diese experimentell. Unten: Im Labor untersuchen die Wissenschaftler*innen, wie sich die Reaktionsgeschwindigkeit von Enzymen bei hohem Druck verändert.

„Solche Lösungsmittelleffekte spielen eine zentrale Rolle in der Biokatalyse“, sagt Held. Biokatalyse findet in der Natur meist in Wasser statt. Forschende wissen allerdings schon länger, dass das Lösungsmittel beeinflusst, wie gut die Ausgangsstoffe umgewandelt werden. Chemische Reaktionen erreichen irgendwann ein Gleichgewicht: Ab diesem Punkt werden die Ausgangsstoffe nicht mehr zu Endprodukten umgesetzt.

„Nehmen wir an, dass ein Ausgangsstoff in Wasser zu 50 Prozent umgewandelt wird. Es kann nun sein, dass ein anderes Lösungsmittel das chemische Gleichgewicht so verändert, dass 70 Prozent des Ausgangsstoffs umgewandelt werden und die Reaktion außerdem schneller abläuft“, sagt Held. „Wir erforschen, welche Effekte es hat, andere Lösungs-

mittel zu benutzen oder dem ursprünglichen Lösungsmittel weitere Substanzen zuzusetzen – zum Beispiel wie sich dadurch das chemische Gleichgewicht, die Reaktionsgeschwindigkeit oder die Stabilität des Enzyms verändern.“

Lösungsmittel maßschneidern

Dazu entwickeln die Forschenden thermodynamische Modelle, die beschreiben, wie die biokatalysierten Reaktionen ablaufen. Ob das Modell funktioniert, überprüfen sie anschließend in Experimenten. Ausschließlich experimentell zu arbeiten, wäre extrem zeit- und kostenaufwändig, so Held: „Ein geeignetes Modell lässt sich auf unterschiedliche Lösungsmittel oder

Lösungsmittelgemische ausweiten. Dadurch sind wir in der Lage, maßgeschneiderte Lösungsmittel zu entwickeln: Wir können nicht nur die chemische Reaktion optimieren, sondern zum Beispiel auch Lösungsmittel finden, die besonders günstig oder besonders umweltfreundlich sind.“

Das Exzellenzcluster RESOLV untersucht seit 2012 lösungsmittelabhängige Prozesse. RESOLV steht für „Ruhr Explores Solvation“: Rund 200 Mitglieder aus sechs Forschungseinrichtungen des Ruhrgebiets arbeiten in diesem Verbundprojekt. Die Bundesregierung und das Land NRW fördern RESOLV im Rahmen der Exzellenzstrategie. „Viele wichtige chemische und biochemische Reaktionen finden in flüssiger Phase statt, vor allem biokatalytische Reaktionen. Das Exzellenzcluster RESOLV zeigt, wie wichtig Forschung in diesem Bereich ist. Dazu versuchen wir einen Beitrag zu leisten“, sagt Prof. Gabriele Sadowski. Sie ist Professorin für Thermodynamik an der Fakultät Bio- und Chemieingenieurwesen und Principal Investigator bei RESOLV, also eine der maßgeblich verantwortlichen Wissenschaftler*innen des Clusters.

Die Dortmunder Arbeitsgruppe „Bioreactions and Biothermodynamics“ ist an den RESOLV-Forschungsbereich „Solvation unter Extrembedingungen“ angegliedert. „Für die Biokatalyse ist schon ein Lösungsmittel, das nicht Wasser ist, eine Extrembedingung. Wir schauen uns zudem an, welchen Einfluss Druck oder Temperatur auf chemische Reaktionen haben. Wie Biokatalyse unter solchen Bedingungen funktionieren kann, zeigt übrigens auch die Natur: Bakterien und andere Organismen schaffen es, in der Tiefsee oder in Vulkankratern zu überleben“, sagt Held. Gajardo, Held und Sadowski versuchen unter anderem, solche natürlichen Mechanismen nachzuahmen und für die Industrie nutzbar zu machen.

Im RESOLV-Konsortium arbeiten internationale Forschende auf unterschiedlichen Ebenen zusammen. 32 der 81 Promovierenden kommen aus dem Ausland. Bei den bereits Promovierten sind es

sogar 22 von 26. „Vor allem zu Beginn war das internationale Umfeld eine große Unterstützung“, erinnert sich Gajardo. Er kam 2020 nach Dortmund – mitten in der Pandemie. „Das war nicht so einfach: Das Labor war strengen Richtlinien unterstellt und konnte nur von wenigen genutzt werden. Daher musste ich einen größeren Teil meiner Forschung in die Theorie verlegen. Sowohl die Arbeitsgruppe hier in Dortmund als auch die anderen Forschenden in RESOLV haben es mir ein bisschen leichter gemacht, in Deutschland anzukommen.“

Der Erstkontakt mit Held und Sadowski kam bereits im Winter 2019 zustande: „Zu dem Zeitpunkt habe ich noch in Santiago de Chile studiert. Der Betreuer meiner Masterarbeit war zuvor Postdoc bei RESOLV und hat mir ein Praktikum bei Christoph Held vermittelt. Ein Jahr später hat mir Christoph dann die Ausschreibung geschickt“, sagt Gajardo. Für seine Promotion an der RESOLV-Graduiertenschule bekommt Gajardo ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes (DAAD). Seine wissenschaftlichen Kontakte nach Chile hat er aufrechterhalten – und begleitet nun selbst Promovierende aus Chile.

Internationale Partnerschaften mit mehr als 20 Instituten

„Ein Projekt wie RESOLV zieht die besten Wissenschaftler*innen aus der ganzen Welt an und ist dadurch ein Multiplikator für unsere Forschung“, sagt Sadowski. RESOLV hat zudem internationale Partnerschaften mit mehr als 20 Instituten, die auf dem Gebiet der Lösungsmittelforschung arbeiten. „Das ermöglicht uns, ein Netzwerk mit anderen Wissenschaftler*innen aufzubauen, zum Beispiel über Konferenzen oder Forschungsaufenthalte. Solche Netzwerke sind sehr wertvoll“, so Held. Wie


man sich auf der internationalen Bühne gut präsentiert, lernen Gajardo und die anderen Doktorand*innen auch in der RESOLV-Graduiertenschule – zum Trainingsprogramm gehören zum Beispiel Vorträge auf Workshops und Konferenzen sowie ein Forschungspraktikum im Ausland.

RESOLV wird über die Exzellenzstrategie aktuell in einer zweiten Förderperiode unterstützt: Zwischen 2019 und 2025 erhält das Cluster 41,7 Millionen Euro. Sadowski sieht auch Potenziale darüber hinaus: „Dank RESOLV haben wir ein tiefgehendes Verständnis dafür, welche Rolle Lösungsmittel in chemischen Reaktionen spielen. Diese Erkenntnisse sind für die Industrie relevant: Sie helfen zum Beispiel dabei, Kohlendioxid für die Herstellung von Chemikalien wiederzuverwerten oder Energie effizienter umzuwandeln und speichern zu können.“

Hanna Metzen

Im Labor testen Gajardo, Held und Sadowski, wie das Lösungsmittel die thermische Stabilität der Enzyme beeinflusst.





Auf die Dynamik kommt es an

Um zu verstehen, wie Proteine funktionieren, genügt es nicht, ihre Struktur zu entschlüsseln. Ebenso wichtig ist, wie sie sich bewegen und mit ihrer Umgebung interagieren. Gemeinsam mit internationalen Partnern entwickelt Prof. Rasmus Linser von der Fakultät für Chemie und Chemische Biologie dafür ein Verfahren namens NMR-Spektroskopie weiter, das in der Lage ist, die Bausteine des Lebens in Aktion zu beobachten.

„Wir wollen die methodischen Fortschritte unmittelbar mit praktischen Anwendungen verknüpfen. Dazu kooperieren wir mit Forschungsgruppen weltweit.“

Prof. Rasmus Linser

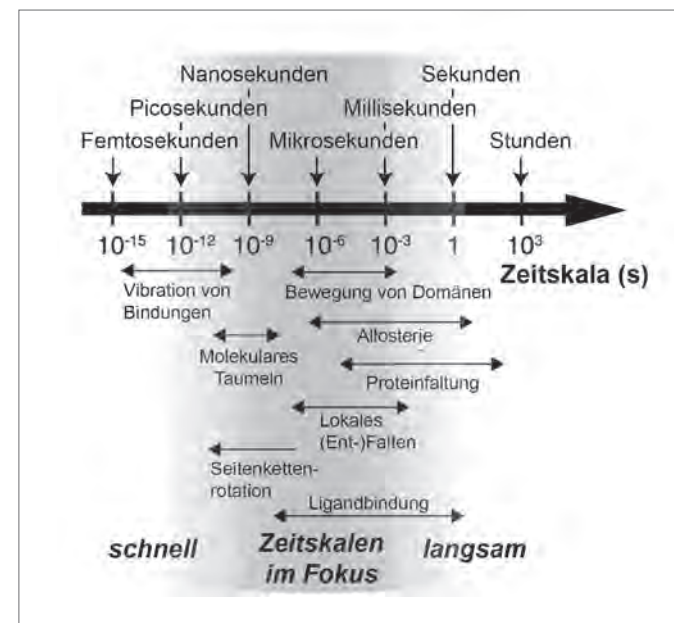


Prof. Dr. Rasmus Linser ist seit 2018 Professor für Physikalische Chemie an der Fakultät für Chemie und Chemische Biologie. Er studierte Chemie in Göttingen und Madrid und promovierte 2010 am Leibniz-Institut für molekulare Pharmakologie in Berlin. Vier Jahre forschte er abwechselnd an der University of New South Wales in Sydney, Australien, an der Harvard Medical School in Boston, USA, und am Walter and Eliza Hall Institute in Melbourne, Australien. Ab 2014 leitete er eine Emmy-Noether-Nachwuchsgruppe am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen, von 2016 bis 2018 war er Professor an der Ludwig-Maximilians-Universität München. An der TU Dortmund forscht er an Verbesserungen der NMR-Spektroskopie zur Aufklärung der Struktur, Dynamik und Funktion von Proteinen.

Proteine erfüllen in unserem Körper vielfältige Aufgaben. Sie geben unseren Zellen Struktur und ermöglichen ihnen Bewegungen, transportieren Stoffwechselprodukte, bestimmen unsere Reaktion auf Krankheiten und katalysieren als Enzyme zahlreiche biochemische Reaktionen. Dabei sind sie stets in Bewegung. Denn ihre Aufgaben können sie nur erfüllen, indem sie flexibel ihre Form ändern, um beispielsweise bestimmte Zielstrukturen zu erkennen oder an Reaktionspartner zu binden.

„Wenn wir die Funktion von Proteinen verstehen wollen, ist diese Dynamik essenziell“, sagt Prof. Rasmus Linser von der Fakultät für Chemie und Chemische Biologie. „Proteine in Bewegung zu beobachten, ist allerdings eine große Herausforderung.“ Denn um die dreidimensionale Struktur von Proteinen zu entschlüsseln, sind Bewegungen oft eher hinderlich. Für klassische Methoden der Strukturanalyse werden die zu untersuchenden Proteine deshalb üblicherweise bei extrem tiefen Temperaturen in einem Kristallgitter untersucht. Damit lässt sich zwar der Aufbau der Proteine in hoher Auflösung darstellen, doch ihre Dynamik bleibt verborgen.

Linser arbeitet daher mit einer anderen Technik: Die sogenannte Kernspinresonanzspektroskopie, kurz NMR-Spektroskopie (nuclear magnetic resonance),



Ultraschnell und winzig klein: Prof. Rasmus Linser untersucht mit NMR-Spektrometern die Bewegungen von Proteinen im Bereich von Piko- bis Millisekunden. Die Proteine befinden sich bei der Untersuchung in Lösung oder in Festkörpern in einem winzigen Röhrchen (rechts), das extrem schnell rotiert.



In Kürze

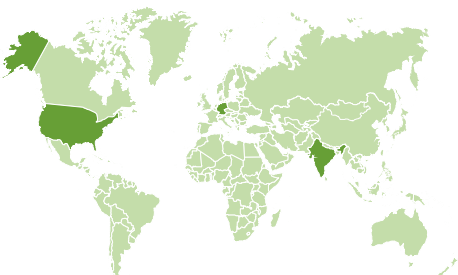
Das Interesse

Forscher*innen wollen nicht nur die komplizierte Struktur von Proteinen entschlüsseln, sondern auch ihre Dynamik verstehen. Schließlich können Proteine wichtigen Funktionen in Zellen nur in Bewegung erfüllen.

Die Methode

Prof. Rasmus Linser forscht zur NMR-Spektroskopie und entwickelt die Methode so weiter, dass er damit Proteindynamiken auf verschiedenen Zeitskalen erfassen kann.

Internationale Kooperation



ermöglicht, nicht nur die Struktur, sondern auch die Dynamik von Proteinen in einer Probe zu erfassen. „Das physikalische Grundprinzip ist das gleiche wie beim MRT, mit dem in der Medizin Bilder von Knochen und Organen gemacht werden, allerdings mit anderen technischen Facetten“, erklärt Linser. In einem starken Magnetfeld wird eine Probe komplexen Sequenzen elektromagnetischer Pulse ausgesetzt. Aus den entstehenden Spektren lässt sich ableiten, welche Abstände die einzelnen Atomkerne zueinander haben, wie sie in die Proteinstruktur eingebettet sind und wie sie mit Nachbaratomen wechselwirken. Zudem lassen sich Bewegungen auf verschiedenen Zeitskalen erfassen. Von Interesse ist dabei vor allem die Dynamik im Bereich von Pikosekunden bis Millisekunden, in dem die vielfältigen Mechanismen der Proteinfunktionalität häufig ablaufen.

Grenzen ausloten und erweitern

Linsers Forschungsgruppe verfügt dafür über mehrere NMR-Großgeräte, die ein starkes Magnetfeld erzeugen und Pro-

ben unter verschiedenen Bedingungen analysieren können. Je nach Einsatzzweck befinden sich die Proteine entweder in Lösung oder werden in Form von Festkörpern untersucht. „Eine der wichtigsten Beschränkungen ist bisher, dass die NMR-Spektroskopie nur für relativ kleine Proteine geeignet ist“, sagt Linser. Denn je komplexer ein Protein ist, desto unübersichtlicher wird das Spektrum. Selbst mit spezialisierten Computerprogrammen ist die Auswertung dann nicht mehr möglich. „In unserer Forschung loten wir die Grenzen des Möglichen aus und versuchen, sie mit innovativen Ansätzen mehr und mehr zu überwinden“, so Linser.

Finanzielle Unterstützung erhält der TU-Professor dabei unter anderem vom Europäischen Forschungsrat (ERC), der Linsers Projekt Anfang 2023 für einen der prestigeträchtigen Consolidator Grants ausgewählt hat und in den kommenden fünf Jahren mit rund zwei Millionen Euro fördert. „Wir kombinieren verschiedene Ansätze, um die Komplexität besser in den Griff zu bekommen“, beschreibt Linser. „Zum einen variieren wir die experimentellen Herangehensweisen – beispielsweise die chemische

Natur der Probe, den darauf abgestimmten Einsatz von Hardware und insbesondere die Schemata, nach denen Magnetisierung zwischen Atomkernen hin- und her transferiert und unterschiedlich kodiert wird, die sogenannten Pulssequenzen. Zum anderen setzen wir auch bei der Analyse der Rohdaten an und entwickeln neue Herangehensweisen zur Datenrekonstruktion und -verwertung.“ Dabei ist Linser stets darauf bedacht, die methodischen Fortschritte unmittelbar mit praktischen Anwendungen zu verknüpfen. „Wir kooperieren dazu mit verschiedenen Forschungsgruppen, sowohl innerhalb der TU Dortmund als auch weltweit“, erklärt er.

Internationale Zusammenarbeit

Eines der bisher größten Proteine, die Linsers Team im Rahmen einer internationalen Kooperation mit Hilfe der NMR-Spektroskopie analysiert hat, ist eine modifizierte Form der Tryptophansynthase. Dieses Protein kommt unter anderem in Bakterien vor und ist sowohl für die medizinische Forschung als auch für die Biotechnologie interessant.

„Forschungsteams aus Kalifornien und Wisconsin, mit denen wir kooperieren, haben mit Hilfe von künstlicher Evolution eine Variante des natürlich vorkommenden Proteins entwickelt, die für industrielle Prozesse weit effektiver nutzbar ist“, berichtet Linser. „Die Frage ist allerdings: Warum funktioniert das? Die größten Unterschiede liegen dabei meist nicht in der Struktur, sondern in der Dynamik. Und da werden wir hoffentlich einen Beitrag leisten.“

Bisher stieß die NMR-Spektroskopie schon bei Proteinen mit einer Molekülmasse von 40 Kilodalton an ihre Grenzen. Die Tryptophansynthase dagegen besteht aus zwei Untereinheiten mit einer Masse von jeweils 72 Kilodalton – für Linser eine willkommene Herausforderung. Tatsächlich gelang es seinem Team mit neuen experimentellen Ansätzen und einer innovativen Datenverarbeitung, die Grundlagen dafür zu schaffen, die dynamischen Prozesse innerhalb dieser Proteine nun aufzuklären.

Auch im Exzellenzcluster RESOLV, den die TU Dortmund und die Ruhr-Universität

Bochum als Sprecherhochschulen koordinieren, arbeitet Linser's Team mit. „Bei RESOLV geht es darum, welche Rolle das Lösungsmittel für verschiedene Vorgänge spielt, beispielsweise in der Katalyse, im elektrochemischen oder im biochemischen Kontext“, erklärt Linser. „Ich interessiere mich vor allem dafür, wie Proteine mit ihm interagieren und es nutzen.“

Einen Fokus hat er in diesem Kontext auf das menschliche Enzym Carboanhydrase gelegt. Die Carboanhydrase katalysiert die Umwandlung von Wasser und Kohlendioxid zu Kohlensäure und andersherum. Damit spielt sie unter anderem eine wichtige Rolle für unsere Atmung sowie für die Säureregulation in Magen und Niere. Entscheidend für die Funktion der Carboanhydrase ist ihr aktives Zentrum, also die Reaktionstasche, in der die Umwandlung stattfindet.

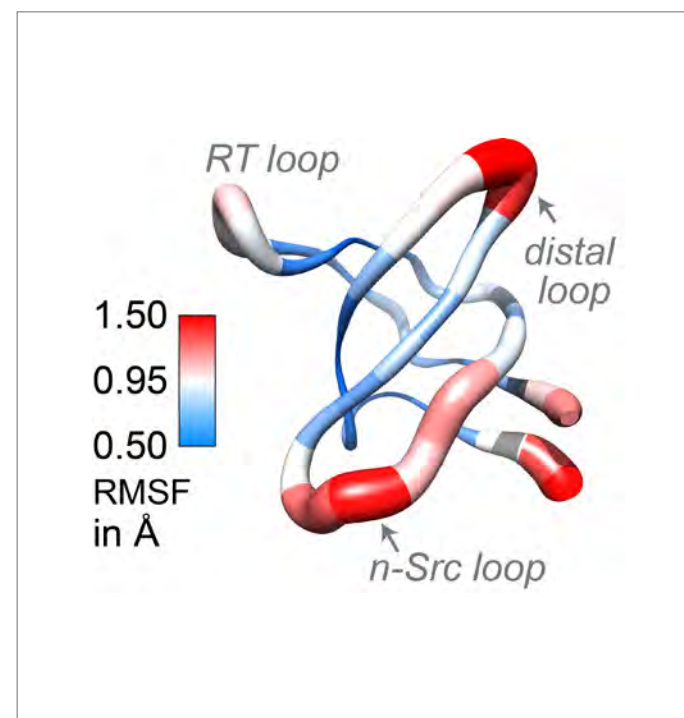
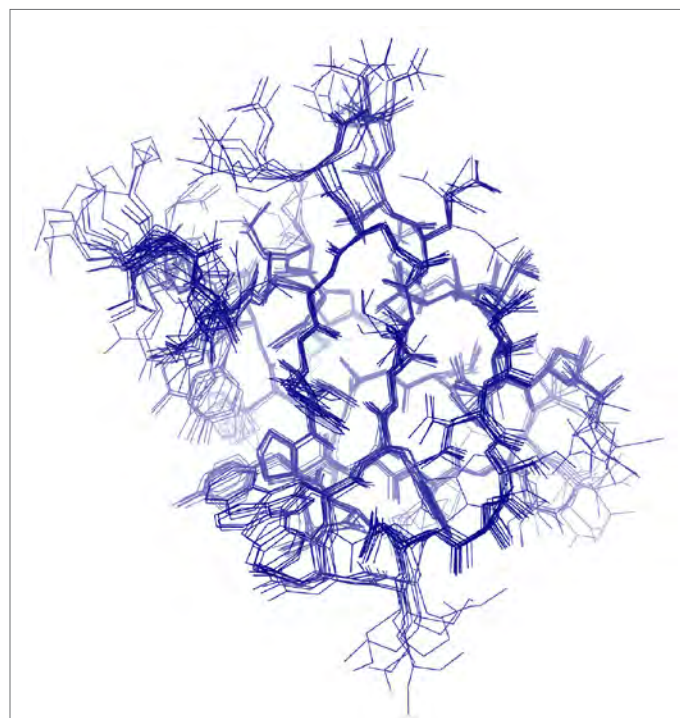
„Mit Hilfe der NMR-Spektroskopie haben wir nachgewiesen, dass das aktive Zentrum eine Konformationsbewegung durchläuft, die auch die ‚erlaubten‘ Plätze der Wassermoleküle in der Tasche

beeinflusst“, berichtet Linser. Zuvor war die Carboanhydrase vorwiegend mit Methoden untersucht worden, bei der diese Dynamik verloren geht. Erst die Weiterentwicklung der Möglichkeiten der NMR-Spektroskopie durch Linser und sein Team ermöglichten, das mit rund 30 Kilodalton ebenfalls relativ große Protein mit dieser Technik zu analysieren und dabei Bewegungen auf einer Zeitskala im Mikrosekundenbereich zu erfassen. Erstmals ließ sich so nachweisen, dass das Protein durch seine starke Interaktion mit dem Wasser in der Tasche – trotz der hohen Beweglichkeit der einzelnen Lösungsmittelmoleküle – dem Wasser um das aktive Zentrum herum variierende Eigenschaften aufprägen kann.

Lösungsmittel im Fokus

„Aktuell erforschen wir, wie dynamische Prozesse in unterschiedlichen Elementen der Tasche zusammenspielen. Dabei beziehen wir auch kleine, meist synthetisch hergestellte Moleküle ein, die an

Mit der NMR-Spektroskopie kann zum einen die Struktur von Proteinen (links) und zunehmend auch ihre Dynamik, die in der rechten Grafik dargestellt ist, entschlüsselt werden.



Die Wissenschaftler Dr. Himanshu Singh, Prof. Rasmus Linser und Dr. Suresh Vasa (v.l.) haben ihre Erkenntnisse zur Funktionsweise der Carboanhydrase unter anderem im *Journal of the American Chemical Society* gemeinsam veröffentlicht. Das Bild zeigt sie vor einem NMR-Spektrometer.

das aktive Zentrum binden, sogenannte Liganden“, erzählt Linser. „Das Wasser ist dabei das verbindende Element. Wir wollen genau verstehen, wie die Einheit von Lösungsmittel und Protein die Funktion prägt.“ Auch für die kommende Phase der Exzellenzstrategie ab 2026 hat er schon Ideen. Sofern der Exzellenzcluster RESOLV verlängert wird, könnte er sich gut vorstellen, zu erforschen, wie die interne Dynamik von Liganden, die in ganz unterschiedlicher Funktion an Proteine binden, durch verschiedene Lösungsmittel beeinflusst wird.

„Solche Liganden können ihr jeweiliges Zielprotein aktivieren, hemmen oder anderweitig seine Funktion modulieren. Oder sie werden als Substrate von dem jeweiligen Protein zu neuen Produkten umgesetzt“, erklärt Linser. „Das Lösungsmittel beeinflusst das Zusammenspiel im biochemischen Kontext

dabei wahrscheinlich auf vielfältigere Weise als bisher angenommen: Es könnte gerade größere, komplexere Liganden und Substrate flexibler machen und die Bindung ans Protein erleichtern, oder aber den Prozess erschweren.“ Gerade für die biotechnologische Synthese von größeren Molekülen wären solche Informationen äußerst hilfreich, um die jeweiligen Reaktionen so effektiv wie möglich zu gestalten.

„Bisher lässt sich der Einfluss eines bestimmten Lösungsmittels auf die Molekulardynamik sehr schwer voraussagen“, sagt Linser. „Das Lösungsmittel ist zwar allgegenwärtig, aber seine orts aufgelöste experimentelle Erfassung ist eine Herausforderung.“ Auch mit der NMR-Spektroskopie wird das Lösungsmittel in der Regel nicht direkt beobachtet – wohl aber sein Einfluss auf die Bewegung der Proteine und ihrer Bindungs-

partner. „Dieses Feld im Rahmen von RESOLV weiterzuentwickeln, wäre auf jeden Fall sehr reizvoll“, so Linser. „Mit unserem Equipment und unserer Expertise haben wir gute Voraussetzungen, die Forschung auch in diesem Bereich weiterzubringen.“

Elena Bernard



Beste Bedingungen für soziale Innovationen

Innovationen – bei dem Thema geht es in der Regel um neue Technologien. Die Sozialforschungsstelle der TU Dortmund dagegen beschäftigt sich in internationalen Verbundprojekten mit Innovationen in Form neuer sozialer Praktiken wie Carsharing, Mehrgenerationenhäusern oder Kreislaufwirtschaft. Denn die großen gesellschaftlichen Herausforderungen – vom Klimawandel bis zur Digitalisierung – sind durch technische Neuerungen allein nicht zu bewältigen.

Das Mehrgenerationenprojekt *WohnArt* in Bad Kreuznach schafft bezahlbaren und barrierearmen Wohnraum. Es gibt Gemeinschaftsflächen und individuelle Wohneinheiten.

„In Deutschland nimmt das Thema soziale Innovation erst richtig Fahrt auf.“

Dr. Christoph Kaletka



Dr. Christoph Kaletka ist seit 2021 stellvertretender Direktor der Sozialforschungsstelle (sfs) an der Fakultät Sozialwissenschaften der TU Dortmund. Er arbeitet dort bereits seit 2003, seit 2012 ist er Mitglied der Geschäftsführung. Christoph Kaletka wurde am Institut für Kommunikationswissenschaft der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster promoviert und an der Fakultät Rehabilitationswissenschaften der TU Dortmund habilitiert. Zuvor war er wissenschaftlicher Mitarbeiter und Dozent am Lehrstuhl für Public Relations an der Universität Münster. An der sfs koordiniert Christoph Kaletka die internationale Forschung und leitet nationale wie internationale Forschungsprojekte. Seine zentralen Forschungsfelder sind soziale Innovation, digitale Teilhabe und digitale Lernorte. Zu diesen Themen lehrt er an den Fakultäten Sozialwissenschaften und Rehabilitationswissenschaften der TU Dortmund.

In Kürze

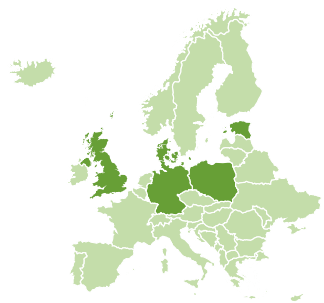
Der Anspruch

Vertreter*innen von Politik und Wissenschaft sind sich einig, dass zur Bewältigung großer gesellschaftlicher Herausforderungen zusätzlich zu technischen auch soziale Innovationen gebraucht werden, die oft in der Zivilgesellschaft entstehen.

Der Austausch

In der European Social Innovation Alliance lernen Expert*innen aus fünf europäischen Ländern voneinander, um die Rahmenbedingungen für soziale Innovationen in ganz Europa zu verbessern.

Internationale Kooperation



Tauschen statt kaufen, teilen statt besitzen, verschenken statt vernichten, beteiligen statt allein entscheiden: Soziale Innovationen verändern Einstellungen und Verhaltensweisen grundlegend. Bereits seit 2010 forschen Wissenschaftler*innen der Sozialforschungsstelle (sfs) zu sozialen Innovationen und machen damit ausgerechnet das Land der Ingenieur*innen zu einem starken Player auf diesem Gebiet. In einem von der Europäischen Union geförderten Projekt haben sie sich mit Expert*innen aus Deutschland, Polen, Dänemark, Estland und Großbritannien zusammengeschlossen, um soziale Innovationen in ganz Europa zu erforschen, zu stärken und nationale Kompetenzzentren aufzubauen. An der sfs wird das Projekt ESIA – *European Social Innovation Alliance* – von Dr. Christoph Kaletka koordiniert.

Politik und Wissenschaft sind sich weitgehend einig, dass die großen gesellschaftlichen Herausforderungen – vom Klimawandel über die alternde Gesellschaft bis zur Digitalisierung des Bildungssystems – durch technische Neuerungen allein nicht zu bewältigen sind. Die zuvor stark technisch und ökonomisch geprägte Innovationseuphorie weicht mittlerweile einem neuen, ganzheitlichen Verständnis von Innovation. Auch die Bundesregierung hat das Thema bereits prominent in ihre Hightech-Strategie aufgenommen. Vor dem Hintergrund der großen gesellschaftlichen Herausforderungen und eines neuen Innovationsverständnisses wurde die Strategie weiterentwickelt und 2023 als „Zukunftsstrategie für Forschung und Innovation“ veröffentlicht. Soziale und technologische Innovationen werden hier als gleichberechtigt betrachtet.



Expert*innen aus verschiedenen Ländern Europas machten sich im Februar 2023 in Berlin einen Eindruck vom Ökosystem sozialer Innovationen in Deutschland.

Der Diskurs habe sich verändert, sowohl in der Innovationsforschung als auch in der Innovationspolitik, bestätigt Christoph Kaletka: „Heute fragt niemand mehr: Soziale Innovation – was ist das eigentlich? Sondern eher: Wie machen wir es konkret? Wohin entwickelt sich die Forschung? Was gibt es für gute Beispiele und was können wir daraus lernen?“

Es geht dem ESIA-Konsortium deshalb auch darum, das Thema besser im öffentlichen Diskurs zu verankern, damit soziale Innovationen, die anders als Neuerungen technischer Art oftmals in der Zivilgesellschaft entstehen, eher erkannt, gefördert und gezielt verbreitet werden. ESIA soll Wissenstransfer gewährleisten, als Beratungsinstanz für Förderstellen und Stiftungen dienen, Synergien mit anderen Initiativen hervorbringen sowie Netzwerke national und international weiterentwickeln. Durch den Austausch von Ansätzen und Methoden, unter anderem zu Fördermaßnahmen, sozialem Unternehmertum und sozialen Investitionen, sollen nationale Ökosysteme für soziale Innovationen gestärkt werden.

Das Team der Dortmunder Sozialforschungsstelle begleitet die Entwicklung

eines umfassenden Innovationsverständnisses seit mehr als zehn Jahren mit seinen wissenschaftlichen Arbeiten und setzt durch Handlungsempfehlungen für die Politik Impulse. Mit Prof. Jürgen Howaldt und Dr. Michael Schwarz haben zwei Forscher der sfs eine in der internationalen Forschungscommunity anerkannte Definition sozialer Innovation entwickelt. Auch in der Industrie ist das Thema hochaktuell: Gerade in den energieintensiven Prozessindustrien würden Technologieentwicklung und soziale Innovationsprozesse zunehmend Hand in Hand gehen, beispielsweise beim Aufbau einer Kreislaufwirtschaft, so Kaletka.

„Wir mischen uns ein“

Da die Folgen von Klimawandel und Umweltverschmutzung genauso wie die Herausforderungen der Armutskämpfung und des Erhalts der Biodiversität globale Themen sind, können sie nur gemeinsam sinnvoll angegangen werden. Auch deshalb ist der internationale Austausch über veränderte soziale Praktiken für den wissenschaftlichen und politischen Umgang mit sozialer Innovation so wichtig. ESIA bringt die

Das ESIA-Team

An der *European Social Innovation Alliance* sind von der Sozialforschungsstelle beteiligt:

Dr. Christoph Kaletka, Daniel Krüger, Katrin Bauer, Dr. Karina Maldonado-Mariscal und Marthe Zirngiebl.

„Soziale Innovationen leisten schon heute in ganz Europa einen aktiven Beitrag zu einer gleichberechtigteren, nachhaltigeren und gerechteren Gesellschaft. Wir glauben, dass wir zusammenarbeiten müssen, um die derzeitigen sozialen und wirtschaftlichen Systeme zu verändern und die Infrastrukturen zu verbessern, um noch mehr Innovation zu ermöglichen. Unser Netzwerk gibt dazu erfolgreichen Innovationen einen Ort, an dem sie gesehen, gefunden und gewürdigt werden. Nachahmung ist ausdrücklich erwünscht!“
Daniel Krüger

Perspektiven von Akteur*innen aus den unterschiedlichen Bereichen – Wissenschaft, Politik, Sozialunternehmen, Zivilgesellschaft – zusammen und sorgt



Der *Social Innovation Atlas* präsentiert viele spannende Beispiele für soziale Innovationen auf der ganzen Welt: www.socialinnovationatlas.net

für eine feste Verankerung der Strategien in allen beteiligten Ländern. So soll eine europaweite Infrastruktur für soziale Innovation auf allen Ebenen – lokal, regional, national und transnational – aufgebaut werden. „Wir betreiben hier tatsächlich eine auf gesellschaftliche Wirkung zielende Wissenschaft, indem wir nicht nur unser theoretisches und empirisches Wissen zur Verfügung stellen, sondern uns einmischen und Prozesse mitgestalten“, so Kaletka.

Teilhabe, Diversität und Nachhaltigkeit sind die grundlegenden Prinzipien, an denen soziale Innovationen ansetzen: Initiativen wie Kleidertauschbörsen, Mikro-Kredite für Kleinunternehmer oder Carsharing entsprechen nicht nur sich wandelnden Bedürfnissen, sondern verbessern auch das Miteinander und eröffnen benachteiligten Menschen neue Möglichkeiten. Deshalb wollen Politik und Wissenschaft bestmögliche Rahmenbedingungen für das Gedeihen sozialer Innovationen schaffen. Wie soziale Innovationen in unterschiedlichen Regionen der Welt entstehen und geför-

dert werden, welche gesellschaftlichen Sektoren beteiligt sind, unter welchen Bedingungen erfolgreiche Ansätze Verbreitung finden und auf welche Hemmnisse Initiativen stoßen, hat die sfs bereits in verschiedenen internationalen Forschungsprojekten untersucht – zum Beispiel im Projekt „SI-DRIVE“. Dort entstand von 2014 bis 2018 eine Weltkarte sozialer Innovationen: Rund 1.000 Innovationen wurden dabei untersucht und verglichen, erzählt Christoph Kaletka, der das Projekt gemeinsam mit Jürgen Howaldt und Antonius Schröder leitete.

Auch in Deutschland hat das Thema trotz des historisch bedingten Fokus auf Technologie an Fahrt aufgenommen. Inzwischen gehöre Deutschland zusammen mit Ländern wie Portugal zu den Vorreitern für eine Innovationspolitik, in der soziale Innovation eine wichtige Rolle einnimmt, so Kaletka. Dieses Wissen bringt das sfs-Team auch in die neue europäische Allianz ein. Das ESIA-Team hat herausgefunden, inwiefern sich auch Umsetzung und Charakter der sozialen Innovationen in den beteiligten

Soziale Innovation

Wikipedia: Unter sozialer Innovation versteht man die Entstehung, Durchsetzung und Verbreitung von neuen sozialen Praktiken in unterschiedlichen gesellschaftlichen Bereichen.

Hightech-Strategie 2025 der Bundesregierung: Soziale Innovationen umfassen neue soziale Praktiken und Organisationsmodelle, die darauf abzielen, für die Herausforderungen unserer Gesellschaft tragfähige und nachhaltige Lösungen zu finden.

Jürgen Howaldt und Michael Schwarz (sfs): Eine soziale Innovation ist eine von bestimmten Akteuren (...) ausgehende intentionale (...) Neukonfiguration sozialer Praktiken in bestimmten Handlungsfeldern mit dem Ziel, Probleme oder Bedürfnisse besser zu lösen (...) als dies auf der Grundlage etablierter Praktiken möglich ist. (...) Das Neue vollzieht sich nicht im Medium technologischer Artefakte, sondern auf der Ebene sozialer Praktiken (des Regierens, Organisierens, Versorgens, Konsumierens, der Partnerschaft, der Verhandlung etc.).

Ländern unterscheiden: Dänemark habe beispielsweise früh administrative Prozesse im öffentlichen Sektor verändert. Deutschland verankere das Thema nun auf hoher politischer Ebene, während Polen es weiterhin eher der Zivilgesellschaft überlasse. Großbritannien sei stark auf soziales Unternehmertum fokussiert.

Von lokalen Initiativen lernen

Neben den großen internationalen Zusammenhängen erforscht die sfs auch lokale Initiativen und deren Potenziale. „Es gibt schon viele Ideen“, sagt Christoph Kaletka – nur würden eben aus sehr wenigen soziale Innovatio-

nen. Als erfolgreiches Beispiel nennt er die Bürger-Energie-Genossenschaften („Bürgerwerke“), die dazu beitragen, nachhaltig Energie zu erzeugen und weniger zu verbrauchen. Oder die Initiative „Tausche Bildung für Wohnen“ aus Duisburg: Studierende und andere junge Menschen wohnen kostenlos und unterstützen dafür Kinder und Jugendliche aus strukturell benachteiligten Stadtteilen als Bildungspaten und -patinnen beim Lernen. Um solche sozialen Innovationen übertragbar zu machen, müsse man die Rahmenbedingungen ihrer Entstehung untersuchen, damit sie auch an anderen Orten funktionieren können.

Ein bekanntes Beispiel für eine funktionierende soziale Innovation, die in Deutschland entwickelt wurde und sich nun in weiteren Ländern etabliert, ist das Projekt „discovering hands“: Sehbehinderte und blinde Frauen werden wegen ihres oft besonders gut ausgeprägten Tastsinns in der Brustkrebsfrüherkennung eingesetzt. Dafür werden sie zu professionellen Medizinisch-Taktilen Untersucherinnen ausgebildet. Vor allem in weniger technisierten Ländern hat diese manuelle Untersuchung einen großen Effekt. „So wird eine Idee durch Erfolg zur Innovation“, sagt Kaletka.

In Estland besucht das ESIA-Konsortium eine familiengeführte Schuhproduktion, die eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft aufbaut. Von solchen erfolgreichen lokalen Initiativen können alle Partnerländer lernen.



nicht unbedingt vermutet, und Teilhabe am Arbeitsleben neu zu organisieren – auch das gelingt durch soziale Innovation. „Dieses Beispiel zeigt, dass die Digitalisierung einerseits die Umsetzung und Verbreitung vieler kreativer Ideen fördert, aber auch neue Problemfelder eröffnet und damit weitere soziale Innovationen triggert“, sagt Kaletka. „Zwar muss man soziale und technologische Innovationen getrennt voneinander erforschen, dennoch ergeben sich auch komplexe Abhängigkeitsverhältnisse.“

Eine andere Herausforderung, der sich das sfs-Team derzeit stellt: Verstehen, wie Hochschulen mit dem Thema soziale Innovation umgehen und es in Forschung, Lehre und Transfer integrieren. Dies erforschen Christoph Kaletka und sein Team seit Oktober 2022 in einem dreieinhalbjährigen ESIA-Folgeprojekt, diesmal finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Es sei noch viel zu tun für die Sozialforschungsstelle, denn, so Kaletka: „In Deutschland nimmt das Thema soziale Innovation erst richtig Fahrt auf.“

Susanne Riese



„Best experience of my life“

Die Teilchenphysiker Prof. Johannes Albrecht und Prof. Kevin Kröninger arbeiten in der Forschung und bei der Ausbildung des Nachwuchses in internationalen Kooperationen. Mit ihren vielfältigen Angeboten begeistert die Fakultät zum Beispiel die Studierenden ihres internationalen Masterstudiengangs IMAPP.



In Kürze

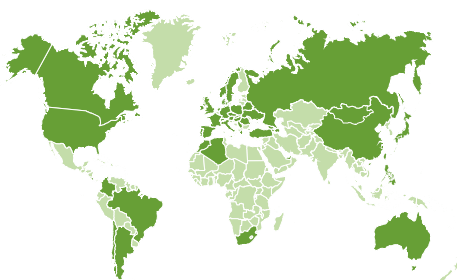
Der Weg

Die Fakultät Physik ebnet ihrem Nachwuchs den Weg in die internationale Forschung: vom Masterstudium über ein Promotionsnetzwerk bis hin zur Mitarbeit am CERN.

Das Ziel

Internationale Kooperationen machen Fortschritt möglich. Das gilt in der Physik für jede*n Wissenschaftler*in persönlich und ganz besonders für die Arbeit an den grundlegenden Fragen der Teilchenphysik.

Internationale Kooperation



Prof. Dr. Johannes Albrecht ist in Darmstadt aufgewachsen und hat in Heidelberg und Sydney Physik studiert. Nach seiner Promotion in Heidelberg 2009 arbeitete er für drei Jahre am Europäischen Forschungszentrum CERN in der Schweiz. 2013 kam er über das Emmy-Noether-Programm der Deutschen Forschungsgemeinschaft zum Lehrstuhl für experimentelle Physik V an die TU Dortmund. Seit 2020 hat er hier die Professur für experimentelle Flavourphysik (Heisenberg-Professur) inne. Die Arbeitsgruppe von Prof. Albrecht beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit experimenteller Teilchenphysik und medizinischer Physik.



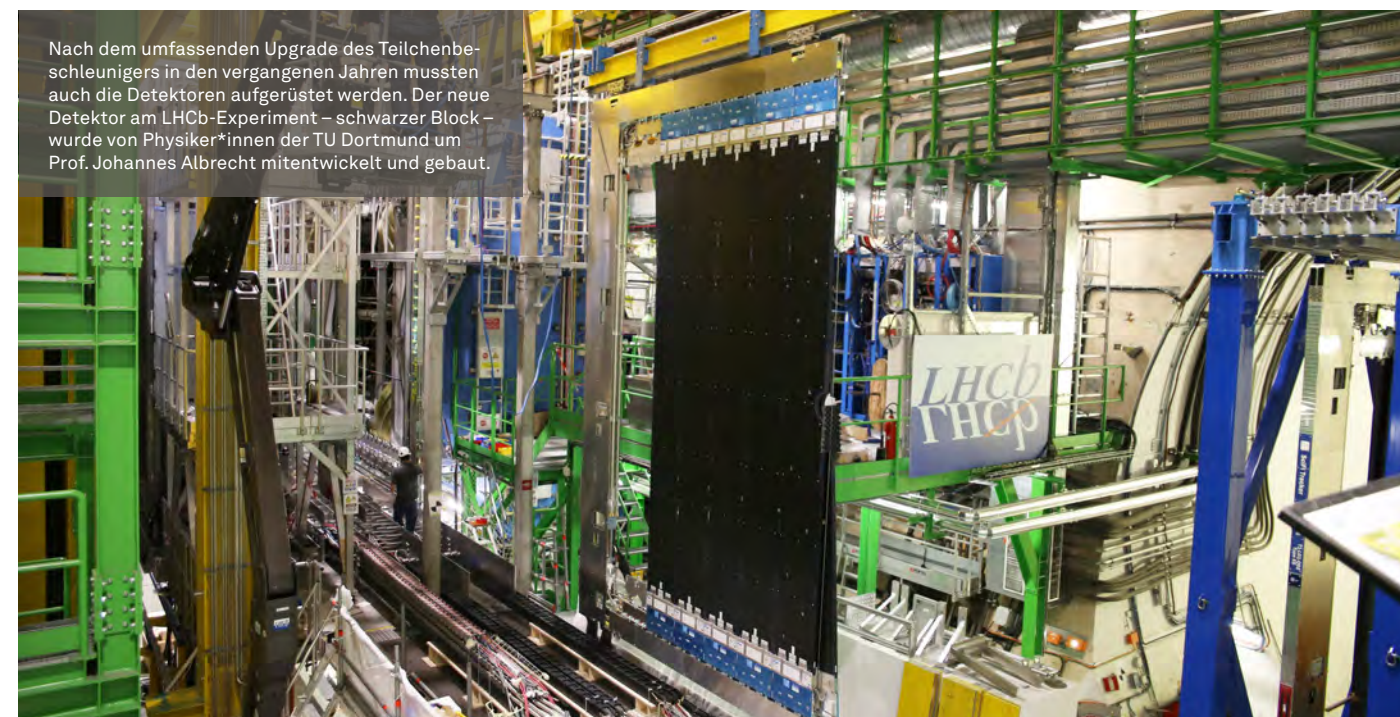
Prof. Dr. Kevin Kröninger wurde in Mainz geboren. Er studierte Physik an den Universitäten Göttingen und Bonn sowie der Northeastern University in Boston. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Max-Planck-Institut für Physik promovierte er 2007 an der TU München. Nach seiner Habilitation in Göttingen kam er 2014 an die TU Dortmund und hat hier eine Professur für experimentelle Elementarteilchenphysik inne. Die Arbeitsgruppe von Prof. Kröninger beschäftigt sich mit Fragestellungen in der experimentellen Teilchenphysik und der Medizinphysik sowie dem Technologietransfer zwischen den beiden Gebieten.

„Für unseren internationalen Masterstudiengang können wir pro Jahr 18 gut ausgestattete Stipendien vergeben.“

Prof. Kevin Kröninger

Bologna oder Dortmund? In einem Ranking attraktiver Reiseziele ist klar, welche der beiden Städte vorne liegt. Fragt man nicht Touristen, sondern Studierende, kann die Reihenfolge durchaus anders sein. Zwei junge Teilchenphysiker aus der norditalienischen Universitätsstadt verbrachten das Sommersemester im Rahmen des internationalen Masterstudiengangs IMAPP an der TU Dortmund und waren begeistert von ihrem Aufenthalt. „Mit ihrer historischen Altstadt ist Bologna nicht mit dem Ruhrgebiet vergleichbar, und wir versuchen auch nicht, uns gegenseitig auszuspüren, aber wir haben hier in Dortmund Rahmenbedingungen in Forschung und Lehre, die die Studierenden aus dem Ausland sehr schätzen“, sagt Prof. Johannes Albrecht von der Fakultät Physik. Sein Kollege Prof. Kevin Kröninger hat gemeinsam mit Partnern der Universitäten Bologna und Clermont Auvergne den *International Master of Advanced Methods in Particle Physics*, kurz IMAPP, aus der Taufe gehoben – der einzige internationale Master mit gemeinsamem Abschluss an drei Universitäten, den es in diesem Bereich gibt. In Dortmund sind alle Professor*innen aus der Teilchenphysik daran beteiligt.

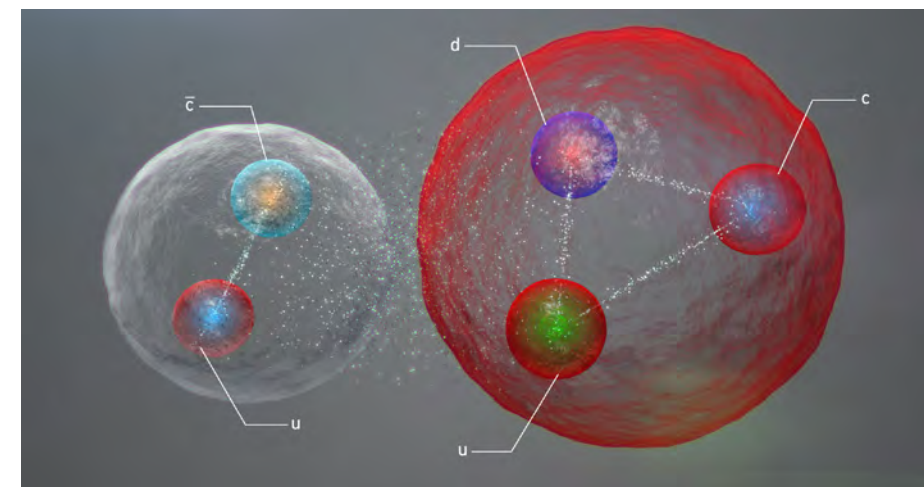
Albrecht und Kröninger sind als Fachleute für experimentelle Teilchenphysik gleichzeitig Experten für internationale Kooperationen. Beide arbeiten am Forschungszentrum CERN in der Schweiz an Experimenten mit über 5.000 For-



Nach dem umfassenden Upgrade des Teilchenbeschleunigers in den vergangenen Jahren mussten auch die Detektoren aufgerüstet werden. Der neue Detektor am LHCb-Experiment – schwarzer Block – wurde von Physiker*innen der TU Dortmund um Prof. Johannes Albrecht mitentwickelt und gebaut.

schenden aus aller Welt zusammen. „Wir treiben es in unserer Disziplin in dieser Hinsicht wirklich auf die Spitze“, sagt Kevin Kröninger. Das liegt daran, dass die Forschungsgemeinschaft der Teilchenphysik mit dem CERN einen Ort mit ungeheurer Anziehungskraft hat. Dort läuft der Large Hadron Collider (LHC) – der mächtigste Teilchenbeschleuniger der Welt. In der 27 Kilometer langen Röhre unter der Erde werden Pakete von Protonen nahezu auf Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und zur Kollision gebracht. Dabei entstehen Milliarden von Elementarteilchen. Komplexe Detektoren zeichnen ihre Spuren, ihre Energie und ihren Zerfall auf und liefern damit jede Menge Daten aus Experimenten.

Eins von vier Großexperimenten ist das LHCb-Experiment. Professor Albrecht und Forschende aus aller Welt sind hier seltenen Zerfällen von B-Mesonen – auch Beauty-Teilchen genannt – auf der Spur. Dabei interessiert ihn insbesondere das Rätsel, warum in unserem Universum kaum Antimaterie zu finden ist, obwohl laut Theorie doch Materie und Antimaterie im Urknall zu gleichen Teilen entstanden sind. Um vergleich-



Mit Großexperimenten am CERN sind Physiker*innen aus aller Welt auf der Suche nach neuen Teilchen. Die Illustration zeigt ein Pentaquark-Teilchen, das am LHCb-Experiment entdeckt wurde.

bar fundamentale Fragen geht es beim ATLAS-Experiment, an dem Professor Kröninger mitarbeitet. Im Jahr 2012 wurde das Experiment am CERN durch den Nachweis des Higgs-Bosons berühmt. Damals dachte man, dass damit das letzte Puzzleteil zur Erklärung unserer materiellen Welt gefunden sei. Heute weiß man, dass es weitere Teilchen oder Phänomene jenseits des Standardmodells geben muss. Denn es beschreibt eben nur den sichtbaren Teil des Universums, und der macht gerade mal geschätzt fünf Prozent aus. Die dunkle

Seite unserer Welt zu entdecken, die nicht wechselwirkt mit dem Licht, ist Ziel des ATLAS-Experiments.

Drei Länder – ein Abschluss

Zurück nach Dortmund: Die ersten IMAPP-Absolvent*innen stehen kurz vor ihrem Abschluss, und das Fazit nach zwei Jahren könnte euphorischer nicht sein: „Best experience of my life“, formulierte es einer der sechs Studie-



Wer Teilchenphysik studiert oder in dem Bereich promoviert, wird unweigerlich Spezialist*in für Datenanalyse, denn all die großen Experimente produzieren gigantische Datenmengen.

renden aus der ersten Kohorte. Der Ursprung der Erfolgsgeschichte liegt acht Jahre zurück. Aus einer internationalen Sommerschule auf Korsika entstanden Tandem-Projekte, in denen Studierende aus verschiedenen Universitäten über ein Semester verteilt an einem gemeinsamen Thema arbeiteten. „Dann wurden gemeinsame Lehrveranstaltungen geplant und per Video gestreamt, und schließlich kamen wir auf die Idee, einen internationalen Masterstudiengang für Teilchenphysik anzubieten“, erklärt Kröninger. Weitere zwei Jahre dauerte es, diesen Studiengang zu konzipieren und die Verträge zwischen den drei Universitäten abzuschließen.



Die Studierenden des Teilchenphysik-Masters IMAPP sammeln wertvolle internationale Erfahrungen: Ihr Studium findet in Dortmund, Bologna und Clermont-Ferrand statt.

IMAPP orientiert sich an den Bedürfnissen des Arbeitsmarkts, sowohl in der Wissenschaft als auch in der Wirtschaft: So stehen auch Statistik und Künstliche Intelligenz, die Entwicklung von Detektoren sowie Elektronik und Informatik auf dem Lehrplan. In Dortmund geht es insbesondere um Instrumentierung, also die technische Seite der experimentellen Teilchenphysik. Eine weitere Besonderheit des Konzeptes: Die Studierenden eines Jahrgangs bleiben als Gruppe zusammen und wechseln gemeinsam von Clermont nach Dortmund und weiter nach Bologna. Erst im vierten und letzten Semester trennen sich ihre Wege. „Für die Masterarbeit gehen die jungen Leute an eine unserer Partneruniversitäten in verschiedenen Ländern der Welt“, sagt Kröninger.

Nach dem Start mit sechs bzw. neun IMAPP-Studierenden strebt die TU Dortmund langfristig eine Zahl von rund 30 Einschreibungen pro Studienjahr an. Beflügelt werden könnte das Interesse durch jüngst bewilligte Fördermittel der Europäischen Union in Höhe von insgesamt 4,5 Millionen Euro für ein Erasmus Mundus-Programm. „Damit können wir pro Jahr 18 gut ausgestattete Stipendien für den internationalen Master vergeben“, freut sich Kröninger.

Wer will, kann direkt in einem vergleichbaren Modus international weiterforschen. Denn unabhängig von Fördermitteln bietet die TU Dortmund schon seit Jahren für angehende Doktorand*innen im Bereich Teilchenphysik eine bi-nationale Betreuung gemeinsam mit Partnerhochschulen in Frankreich und Italien an. In einem sogenannten Cotutelle-Verfahren vergeben beide Universitäten gleichzeitig eine Promotion – ein Doppelabschluss, der in der Regel auch mit gegenseitigen Forschungsaufenthalten verbunden ist.

Datenanalyse in Echtzeit

Noch intensiver als im Studium beschäftigen sich Promovierende im Bereich der Teilchenphysik mit Datenanalyse. Denn eines haben alle Experimente der

Hochenergiephysik (HEP) gemeinsam: Sie produzieren gigantische Mengen von Daten – bis zu 40 Terabyte pro Sekunde! Das entspricht ungefähr der Speicherkapazität von 10.000 herkömmlichen Blu-ray-Discs. „Solche unvorstellbar hohen Datenmengen können nur effizient genutzt werden, wenn man sie in Echtzeit analysiert und nicht erst speichert, um sie in einem zweiten Schritt zu prozessieren. Dafür ist das Volumen einfach zu groß“, erklärt Johannes Albrecht. Neue Techniken der „Real Time Analytics“ (RTA) markieren nicht nur einen Paradigmenwechsel in der Teilchenphysik. Denn die Analyse von Daten spielt mittlerweile in vielen Branchen und der Entwicklung ganz unterschiedlicher Technologien eine Schlüsselrolle. Albrecht nennt als Beispiele den Finanzmarkt oder auch selbstfahrende Autos: „Überall müssen Daten in Echtzeit ausgewertet werden, damit Analyst*innen gute Entscheidungen für Kapitalanleger treffen oder selbstfahrende Fahrzeuge im richtigen Moment bremsen.“

Schon seit Jahren sind Physiker*innen deshalb als Fachleute im Umgang mit großen Datenmengen gefragt. 90 Prozent der Absolvent*innen arbeiten nach dem Master oder der Promotion in der Industrie. Hier setzt „SmartHEP“ an, ein internationales Promotionsnetzwerk, das den Wissenschaftsnachwuchs aus der Teilchenphysik mit Spezialist*innen aus der Informatik und der Industrie zusammenbringt. „Wir gehen mit dem Netzwerk einen Schritt auf die Realität zu. Wir bilden den Nachwuchs nicht mehr nur implizit für den Markt aus, indem wir ihn mit Methoden des maschinellen Lernens Beschleuniger-Daten analysieren lassen. Wir schicken die jungen Menschen jetzt direkt zu verschiedenen Industriefirmen und lassen sie dort ganz praktische Arbeiten machen“, sagt Johannes Albrecht.

Für den Physikprofessor ist das neue Modell eine Gratwanderung, denn bei einer Promotion sollte immer Grundlagenforschung im Mittelpunkt stehen. Deshalb seien die Praktika in der Industrie auch mit zwei bis vier Monaten vergleichsweise kurz bemessen. Johannes Albrecht betreut im Rahmen von



Das internationale Promotionsnetzwerk „SmartHEP“ bringt den Wissenschaftsnachwuchs aus der Teilchenphysik mit Spezialist*innen aus der Informatik und der Industrie zusammen, hier bei einem Treffen in Manchester.

SmartHEP aktuell eine Doktorandin aus Italien und einen jungen Forscher aus England. Die Italienerin arbeitet neben dem wissenschaftlichen Teil ihrer Promotion bei einem Dortmunder Startup, das sich den Slogan „Data Matters“ zu eigen gemacht hat und Methoden der Datenanalyse für die Industrie umsetzt. Der Brite beschäftigt sich im Hauptteil seiner Promotion mit Algorithmen, die Daten in Echtzeit filtern. Für das Praktikum geht es nach Lund, Schweden, zu einer Firma, die selbstfahrende Autos entwickelt.

Bewerbung um Exzellenzcluster

Bei allen Möglichkeiten, die die Übertragung von Methoden der Echtzeitanalyse aus der Physik auf Anwendungen in der Industrie eröffnen, darf die Grundlagenforschung nicht aus dem Blick geraten. Und hier gibt es noch ein erhebliches Potenzial, sind sich die TU-Professoren Albrecht und Kröninger sicher. Deshalb haben sie gemeinsam mit den Universitäten Bonn und Siegen sowie dem Forschungszentrum Jülich einen Antrag auf Förderung als „Exzellenzcluster“

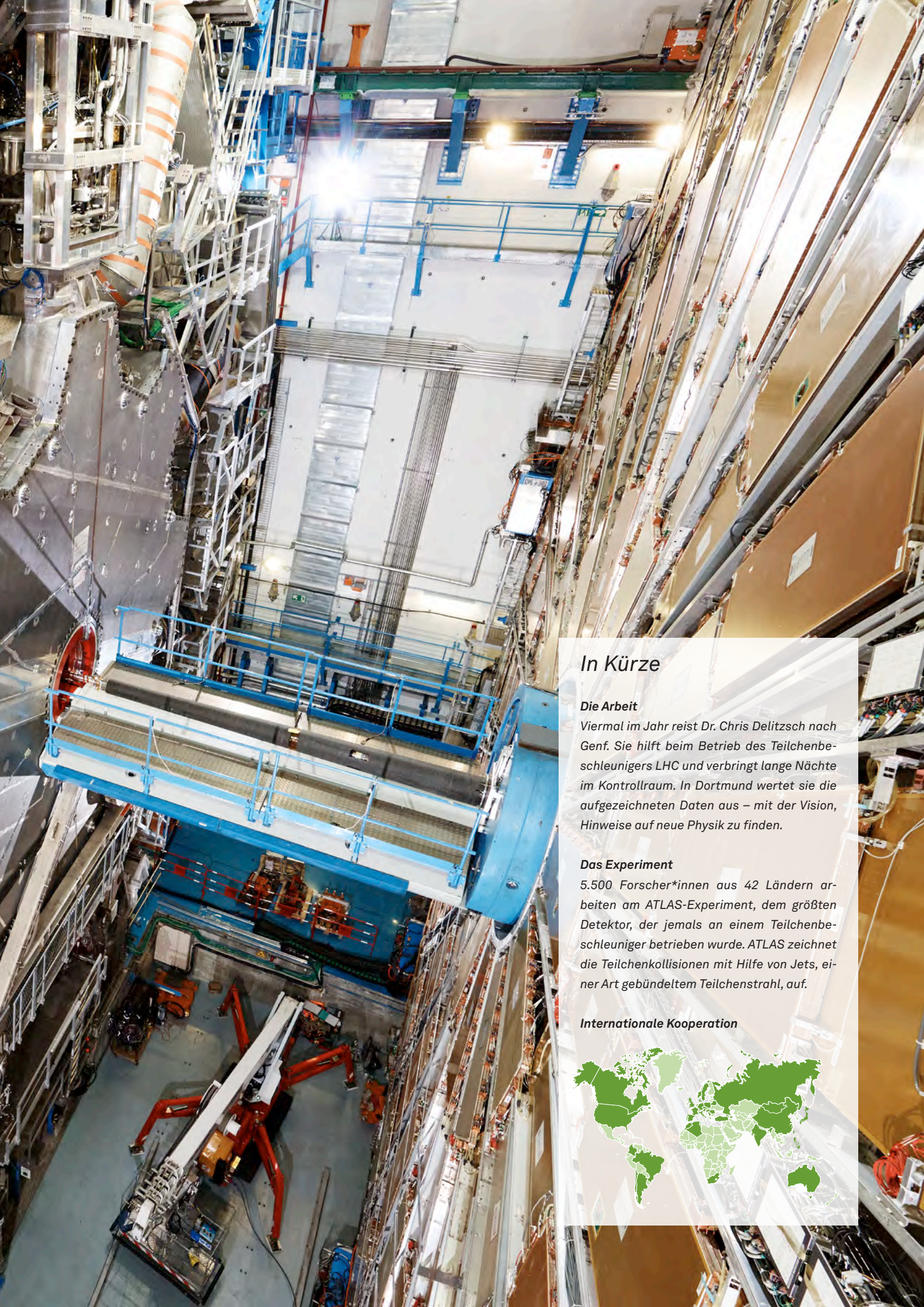
im Rahmen der Exzellenzstrategie von Bund und Ländern eingereicht. Sieben bis acht Professuren wollen die Partner berufen, um gemeinsam an der Erforschung der Elementarteilchen weiterzuarbeiten. „Die Standorte ergänzen sich sehr gut“, erklärt Albrecht. Jeder sei spezialisiert auf die Erforschung bestimmter Quarks. „Das Cluster würde es uns ermöglichen, die Forschung auf ein anderes Level zu heben und eine gemeinsame Struktur aufzubauen, um alle sechs Quarks sowohl von der experimentellen als auch von theoretischer Sicht in ihrer Gesamtheit anzuschauen“.

Im Kern geht es wieder um die großen Fragen: Wie ist unser Universum aufgebaut, was ist dunkle Materie, und warum gibt es keine Antimaterie? Aber Grundlagenforschung habe immer auch ein ungeheures Transferpotenzial, betont Kröninger, und auch in dieser Hinsicht könnte das Cluster Wirkung zeigen. Er nennt als Beispiel die Strahlentherapie zur Behandlung von Krebs, die ohne die Beschleunigertechnologien nicht auf dem heutigen Stand wäre, und den Klassiker World Wide Web, das am CERN entstanden ist.

Christiane Spänhoff

Suche nach neuer Physik

Dr. Chris Malena Delitzsch forscht am ATLAS-Experiment am größten Teilchenbeschleuniger der Welt in der Schweiz. Ziel ihrer Forschung ist es, die Vorhersagen des Standardmodells der Teilchenphysik mit hoher Präzision zu testen und Abweichungen zu erkennen – also Hinweise auf neue Physik zu finden.



In Kürze

Die Arbeit

Viermal im Jahr reist Dr. Chris Delitzsch nach Genf. Sie hilft beim Betrieb des Teilchenbeschleunigers LHC und verbringt lange Nächte im Kontrollraum. In Dortmund wertet sie die aufgezeichneten Daten aus – mit der Vision, Hinweise auf neue Physik zu finden.

Das Experiment

5.500 Forscher*innen aus 42 Ländern arbeiten am ATLAS-Experiment, dem größten Detektor, der jemals an einem Teilchenbeschleuniger betrieben wurde. ATLAS zeichnet die Teilchenkollisionen mit Hilfe von Jets, einer Art gebündeltem Teilchenstrahl, auf.

Internationale Kooperation



Dr. Chris Malena Delitzsch leitet seit 2022 an der Fakultät Physik der TU Dortmund im Forschungsschwerpunkt Teilchenphysik eine Emmy Noether-Nachwuchsgruppe. Als Internationalisierungsbeauftragte der Fakultät Physik ist sie Ansprechpartnerin für Studierende, die Auslandserfahrungen sammeln wollen. Ihr Studium der Physik absolvierte Delitzsch an der Universität Göttingen, sie promovierte von 2012 bis 2016 in Genf. Zwischen 2017 und 2021 war sie als Postdoc an der University of Arizona, forschte aber während der Zeit weiter am CERN und übernahm hier Führungspositionen: Von 2017 bis 2019 leitete sie die Jet-Substructure-Gruppe und von 2019 bis 2021 die Jet/Etmiss-Gruppe mit rund 200 Mitgliedern. Zwischen 2021 und 2022 war sie als Akademische Rätin an der TU Dortmund tätig.

In der Nähe von Genf in der Schweiz passiert im Untergrund Faszinierendes: 100 Meter unter der Erde befindet sich eine der gewaltigsten Forschungsstätten der Gegenwart. Sie beherbergt den größten Teilchenbeschleuniger der Welt mit einem Umfang von rund 27 Kilometern. Über 14.000 Menschen aus aller Welt arbeiten und forschen am CERN an den Grundlagen der Physik. Zu ihnen gehört Dr. Chris Malena Delitzsch, Physikerin an der TU Dortmund. Gemeinsam mit ihrem Team sucht sie nach neuer Physik.

„All die sichtbare Materie, die wir kennen, also fast alles, was aus Atomen zusammengesetzt ist, macht nur fünf Prozent des gesamten Universums aus. Der Rest besteht aus Dunkler Materie und Dunkler Energie, über die wir bisher nur sehr wenig wissen“, erklärt Chris Malena Delitzsch. Sie hat die Faszination gepackt. Sie möchte dazu beitragen, dass wir noch viel mehr von dem verstehen, was um uns herum passiert. Ihr Forschungsschwerpunkt sind Elementarteilchen, also Teilchen, die nicht aus anderen Teilchen zusammengesetzt sind, sowie deren Wechselwirkungen. Mit den Experimenten am CERN betreibt die Physikerin Grundlagenforschung.

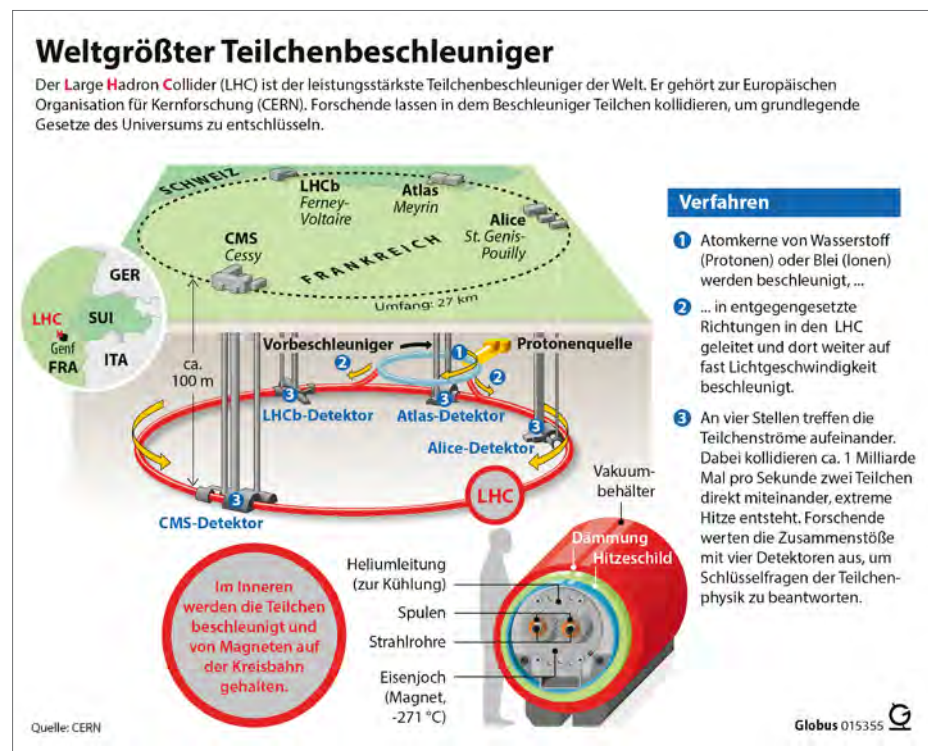
Seit 2022 leitet sie eine Emmy Noether-Forschungsgruppe an der TU Dortmund. Diese wird von der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit zwei Millionen Euro gefördert und soll herausragende Nachwuchswissenschaftler*innen auf eine Professur vorbereiten. Gemeinsam

mit ihrem Team forscht Delitzsch am Large Hadron Collider (LHC), dem leistungsstärksten Teilchenbeschleuniger der Welt. Hier werden in einem sehr großen Ring Protonen beschleunigt, um diese kollidieren zu lassen. Ihre Arbeit ist eingebettet in das ATLAS-Experiment, eines der vier Hauptexperimente am CERN.

ATLAS ist ein zwiebelartig aufgebauter Detektor, mit dem Teilchen sichtbar gemacht werden können – eine Art riesige Kamera. Der Allzweckdetektor ist 45 Meter lang, hat einen Durchmesser von 25 Metern und wiegt rund 7.000 Tonnen. Damit ist er der größte Detektor, der jemals an einem Teilchenbeschleuniger betrieben wurde. Er zeichnet die von Elementarteilchen deponierte Energie auf. Mit den gesammelten Daten versuchen die Forschenden, die Vorhersagen aus dem Standardmodell der Elementarteilchenphysik zu verifizieren. „Zusätzlich versuchen wir, neue Physik zu entdecken, die Aufschlüsse über bisher unerklärbare Phänomene geben könnte, zum Beispiel die Dunkle Materie“, sagt Delitzsch.

Kleinste Bausteine unserer Welt

Das Standardmodell der Physik beschreibt alle Elementarteilchen, also unsere materielle Welt in ihren kleins-



Links: Dr. Chris Delitzsch forscht am ATLAS-Detektor, einem der vier Detektoren am beeindruckenden LHC. Rechts: Der LHC wurde in den vergangenen Jahren sehr aufwendig umgebaut und verbessert, sodass die beschleunigten Protonen seit 2022 heftiger als je zuvor aufeinanderprallen.



ten Bausteinen. Das letzte Teilchen, das entdeckt wurde, ist das Higgs Boson. Es wurde 2012 am LHC gefunden, aber bereits Ende der sechziger Jahre von den Forschern Peter Higgs, François Englert und Robert Brout vorhergesagt. Der LHC wurde ursprünglich gebaut, um die Vorhersagen des Standardmodells präzise zu vermessen und um das vorhergesagte Higgs Boson zu entdecken. „Hier haben wir jetzt ein super aktives Forschungsfeld. Wir vermessen dieses Teilchen mit höchster Präzision, um zu schauen, ob die Theorievorhersagen auch mit dem Gefundenen übereinstimmen“, beschreibt Delitzsch ihre Arbeit genauer.

Ein weiteres interessantes Teilchen ist das Top-Quark. „Es ist rund vierzigmal schwerer als die anderen uns bekannten Quarks. Diese Tatsache fasziniert uns, weil wir nicht wissen, warum das so ist“, sagt Delitzsch. Insgesamt wurden bisher sechs Quarks entdeckt. Die zwei leichtesten Quarks sind die Bestandteile von Protonen und Neutronen.

Bei den anderen Quarks handelt es sich um schwerere Klone. Wenn Protonen am LHC aufeinandertreffen, brechen diese auf und ihre Bestandteile, also die Quarks, können miteinander wechselwirken. Dabei entsteht eine Vielzahl neuer Teilchen, die vom ATLAS-Detektor registriert werden. Quarks können jedoch nicht direkt nachgewiesen werden, sondern produzieren eine Vielzahl von hochenergetischen Teilchen, sogenannte Hadronen. Die Hadronen bilden einen gebündelten Teilchenstrahl entlang der Flugbahn der Quarks und werden als Jet rekonstruiert.

Jets, Higgs Boson und Top-Quarks – das sind die Forschungsfelder, in denen die Gruppe rund um Delitzsch aktiv ist. Momentan arbeitet sie in ihrer Nachwuchsgruppe mit zwei Doktorand*innen aus Indien und Deutschland sowie zwei Masterstudenten aus Italien und Deutschland zusammen. Im Juni erweiterte sich das Team um einen Postdoc aus Indien. Jedes Mitglied verbringt eine längere Zeit am CERN und hilft

beim Betrieb des LHCs. „Oft sitzen wir dann mitten in der Nacht im Kontrollraum und beobachten acht Stunden lang die Bildschirme – rund um die Uhr im Dreischicht-Betrieb, damit nichts schiefliegt“, erzählt Delitzsch.

5.500 Forscher*innen aus aller Welt

Am ATLAS-Experiment sind rund 5.500 Menschen von 245 Instituten aus 42 Ländern beschäftigt. „Aktuell erstelle ich eine Analyse gemeinsam mit Forschenden zum Beispiel aus Amerika, Rumänien, Frankreich, Schweden und Argentinien. Das macht den Austausch auch manchmal etwas schwierig. Nicht unbedingt wegen der Sprache, die natürlich Englisch ist, sondern eher wegen der unterschiedlichen Zeitzonen“, sagt Delitzsch.

Sie selbst war zuletzt im März 2023 am CERN. Der Teilchenbeschleuniger wurde aus seinem Winterschlaf geholt und

die Datennahme gestartet. Über mehrere Monate werden nun wieder Protonen zur Kollision gebracht. Bei einer Milliarden Reaktionen pro Sekunde, die im ATLAS-Detektor gemessen werden, entsteht eine unvorstellbar große Menge an Daten. „Natürlich können wir nicht alle Daten speichern, dies würde ca. ein Megabyte pro Kollision, also 40 Terabyte pro Sekunde entsprechen“, erklärt Delitzsch. Die erste Herausforderung ist es also, Algorithmen zu entwickeln, die relevante Ereignisse herausfiltern. Diese werden dann gespeichert und analysiert.

Der ATLAS-Detektor hat unterschiedliche Komponenten, in denen die verschiedenen Teilchen nachgewiesen werden können. Eine Komponente weist hauptsächlich Elektronen nach, eine andere erkennt zum Beispiel Quarks. Dabei messen die Wissenschaftler*innen, an welcher Stelle ein Teilchen durchgeflogen ist und wie viel Energie es hinterlassen hat. „Die Daten sagen uns leider nicht direkt, um welches Teilchen es sich handelt“, sagt Delitzsch. Hier beginnt die knifflige Arbeit. Mit Hilfe von komplexen Algorithmen werden die Signaturen im Detektor analysiert und die einzelnen Teilchen rekonstruiert. Jedes Teilchen hat eine bestimmte Signatur,

die beschreibt, welche Energien an welcher Stelle aufgezeichnet werden.

Ungefähr viermal im Jahr reist Chris Delitzsch in die Schweiz, die restliche Zeit arbeitet sie von Dortmund aus: „Die Forschung in der Teilchenphysik. Die Zusammenarbeit mit den anderen Disziplinen ist stark: zum Beispiel mit Kolleg*innen mit Expertise im maschinellen Lernen, die uns bei der Entwicklung neuer Rekonstruktionsalgorithmen helfen, oder mit Statistiker*innen, die uns mit ihren Methoden unter die Arme greifen, um die Daten zu analysieren.“ Auch die Anbindung ihrer Nachwuchsgruppe an andere Teilchenphysik-Gruppen der TU Dortmund sei extrem wertvoll. „Wir profitieren jeden Tag von der umfassenden Expertise hier am Standort“, betont Delitzsch.

Extrem seltene Ereignisse

Für ihre weitere Forschung hat sie noch viele Visionen: „Ganz klar möchte ich neue Physik finden. Diese Vision treibt uns Teilchenphysiker*innen an.“ Das sei mit der aktuellen Datenmenge allerdings schwierig. In Zukunft soll der LHC

mit noch höheren Energien arbeiten können und mehr als das Zehnfache der bisherigen Datenmenge produzieren. Auch der ATLAS-Detektor wird dann noch einmal verbessert. Denn: „Je mehr Daten wir aufnehmen, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, extrem seltene Ereignisse zu finden“, erklärt Delitzsch.

Das Upgrade stellt die Forscher*innen aufgrund der hohen Anzahl von Kollisionen, die gleichzeitig stattfinden, jedoch vor große Herausforderungen. Besonders häufig entstehen Hadronen in den zusätzlichen Kollisionen, die mit den Jets überlappen und zu ihrer Energie beitragen. „Ein Teil meiner aktuellen Forschung beschäftigt sich damit, die zusätzlichen Energiedepositionen der Hadronen zu identifizieren und aus den Jets zu entfernen“, sagt Delitzsch. Mehr Kollisionen lassen mehr Teilchen entstehen, die das interessante Signal verunreinigen. „Wir sind nur an ein paar Teilchen von bestimmten Kollisionen in einem Meer von produzierten Teilchen interessiert. Man kann sich das wie in einem Wimmelbuch vorstellen: Je mehr Gegenstände auf dem Bild sind, desto schwieriger ist es, das Einzelne zu sehen“, erklärt sie.

Ende des Jahres geht es für Delitzsch wieder für eine längere Zeit nach Genf. Sie übernimmt dann die Arbeit der „Data Preparations Koordinatorin“. Als solche wird sie die Schnittstelle zwischen der Datennahme und den Analysen, die die Daten verwenden, weiter optimieren.

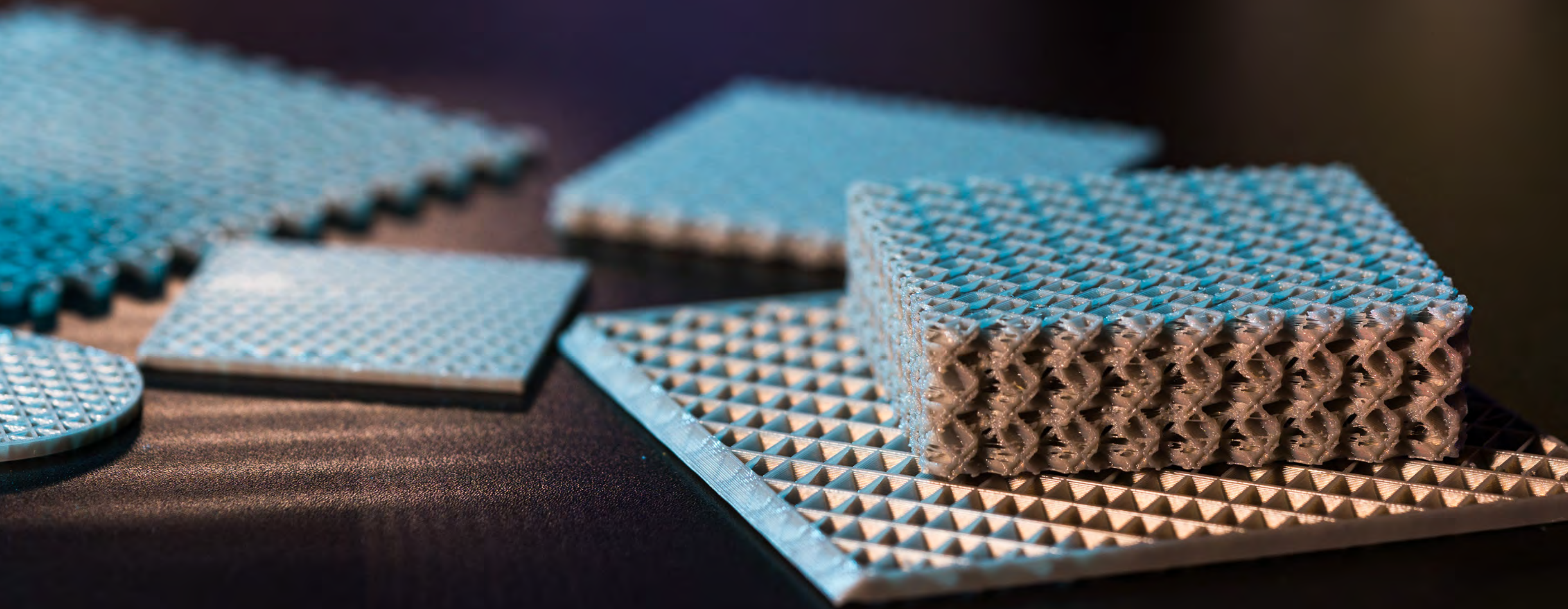
Anna-Christina Senske

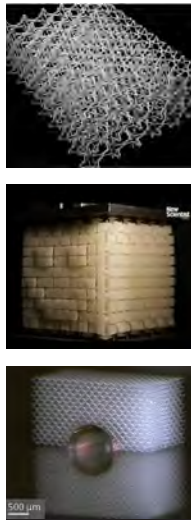
Im Kontrollzentrum überwachen Forscher*innen aus aller Welt den Betrieb des Teilchenbeschleunigers – rund um die Uhr im Dreischicht-Betrieb.



Lego spielen mal anders

Forscher*innen tüfteln an neuen Materialien, die erstaunliche Eigenschaften besitzen: Sie können Geräusche absorbieren oder Vibrationen hemmen. Bislang werden diese „Metamaterialien“ jedoch noch nicht in der Praxis angewandt. Prof. Angela Madeo von der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen erforscht in einem von der EU geförderten Projekt neue Methoden, um herauszufinden, wie sich die Metamaterialien in künftigen Bauprojekten mit regulären Baustoffen kombinieren lassen – quasi ein Lego-Spiel der verschiedenen Materialien.





„Jeden Tag erfinden Wissenschaftler*innen neue Unit Cells für verschiedenste Anwendungen.“

Prof. Angela Madeo



Prof. Angela Madeo studierte Bau- und Umweltingenieurwesen an der Universität La Sapienza in Rom sowie Ingenieurwissenschaften und Mechanik an der Virginia Polytechnic Institute and State University, USA. Für ihre Promotion im Bereich der Theoretischen und Angewandten Mechanik kehrte sie nach Rom zurück. Sie habilitierte sich 2014 am Nationalen Institut der angewandten Wissenschaften in Lyon, wo sie im Anschluss lehrte und forschte. 2021 nahm sie ihren Ruf an die Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen der TU Dortmund auf die Professur Continuum Mechanics an.

Wer einen Block elastischen Materials in seinen Händen hält und an zwei gegenüberliegenden Seiten zieht, erwartet, dass der Block durch die Ziehbewegung in der Mitte dünner wird. Doch es gibt eine Möglichkeit, den Stoff so herzustellen, dass das Verhalten ins Gegenteil verkehrt wird: Zieht man an den Seiten, so dehnt sich der mittlere Teil gegen jede Intuition aus und wird breiter.

Dies ist nur ein Beispiel für ein Metamaterial. Das Wort kommt vom griechischen meta, was ‚über‘ bedeutet. „Metamaterialien sind also Materialien, die über das hinausgehen, was wir gewohnt sind“, erklärt Prof. Angela Madeo von der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen. Diese künstlich hergestellten Werkstoffe verfügen über Eigenschaften, die in der Natur nicht vorkommen. Dabei sind Metamaterialien keine neuartigen Stoffe im Sinne einer chemischen Innovation. Die ungewöhnlichen Eigenschaften entstehen nämlich durch die Form des Materials: Auch wenn sie von außen betrachtet nicht anders aussehen als herkömmliche Materialien, so haben sie eine einzigartige innere Struktur, die die gewünschten Effekte hervorruft. Eine Einheit dieser sich wiederho-

lenden Struktur nennt man „Unit Cell“. Die Metamaterialien selbst können aus verschiedenen Stoffen gefertigt sein, zum Beispiel aus Metallen, Silizium oder Kunststoffen.

Forscher*innen haben bereits eine Vielzahl an potenziellen Metamaterialien mit neuartigen Attributen erdacht – sei es ein Würfel, bei dem auf einer seiner Seiten ein Smiley erscheint, wenn man ihn drückt, oder eine Art mechanische Tarnkappe, in deren Inneren man Gegenstände „verstecken“ kann. Dabei werden die mechanischen Wellen, die durch den Druck des fühlenden Fingers erzeugt werden, so umgeleitet, dass ein Gegenstand, der sich in einem Block dieses Metamaterials befindet, nicht ertastet werden kann. Während dies Beispiele für mechanische Metamaterialien sind, gibt es auch optische Metamaterialien, die mit elektromagnetischen Wellen – also Licht – wechselwirken. Ein Forschungsteam der Universität Princeton konnte eine funktionierende Kamera- linse herstellen, die so klein wie ein Salzkorn ist und deren Mikrostruktur als

eine Art optische Antenne agiert. Und Forscher*innen aus Tel Aviv haben eine Kontaktlinse entwickelt, deren Mikrostruktur hilft, eine Rot-Grün-Schwäche zu mildern.

Bislang kaum Anwendung in der Praxis

Prof. Angela Madeo widmet sich in ihrer Arbeit mechanischen Metamaterialien, die zukünftig in Bauprojekten eingesetzt werden könnten. Unterstützt wird sie von einem Team von Doktorand*innen und Postdocs, die unter anderem aus Griechenland, Frankreich, Costa Rica, Deutschland und Italien kommen. „Die TU Dortmund setzt sich sehr für die Internationalisierung ein – für mich ist das eine echte Stärke“, sagt sie. Zusammen mit ihrem Team hat sie ein Metamaterial entwickelt, in dem sich mechanische Wellen nicht ausbreiten. Dieser Effekt entsteht durch eine Struktur aus vielen kleinen kreuzförmigen Elementen. „Schläge man eine Ecke eines solchen Blocks mit einem

Hammer, würde man am anderen Ende keinerlei Vibrationen spüren“, erklärt Angela Madeo. Man kann die Mikrostruktur auch so bauen, dass akustische Wellen, also Geräusche, nicht übertragen werden.

„Jeden Tag erfinden Wissenschaftler*innen neue Unit Cells für verschiedenste Anwendungen“, sagt Madeo. Doch bislang werden Metamaterialien fast gar nicht in der Praxis verwendet, denn noch sind die Möglichkeiten, diese am Computer für reale Anwendungen zu testen, wenig entwickelt.

Unit Cells lassen sich mit numerischer Software simulieren, also mit Programmen, die Algorithmen der numerischen Mathematik nutzen. Nach Eingabe der jeweiligen Geometrie erhalten die Wissenschaftler*innen ein Diagramm, das sozusagen den Fingerabdruck des Materials darstellt und dessen Eigenschaften beschreibt. Beispielsweise wird durch diese Simulation angezeigt, welche Frequenzbereiche sich in dem Material nicht ausbreiten.

Prof. Madeo und ihr Team haben ein Metamaterial entwickelt, in dem akustische Wellen nicht übertragen werden (s. 3D-Modell links). Zufällig ähnelt dessen Struktur einem Steinfliesen-Bild auf dem Boden in der Kathedrale von Chartres in Frankreich (rechts).



In Kürze

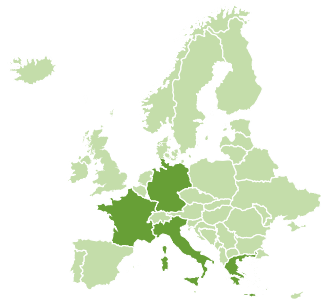
Das Problem

Metamaterialien können erstaunliche Eigenschaften besitzen. Doch die Modellierung für echte Anwendungen ist auch für leistungsfähige Rechner kaum zu schaffen.

Die Lösung

Prof. Angela Madeo erforscht eine Methode, um die Modellierung mechanischer Metamaterialien zu vereinfachen. Damit könnten sie zukünftig in Bauprojekten eingesetzt werden.

Internationale Kooperation



Oben: Ein elastisches Material, das nicht dünner, sondern breiter wird, wenn man daran zieht; ein Würfel, bei dem auf einer seiner Seiten ein Smiley erscheint, wenn man ihn drückt; eine mechanische Tarnkappe (v.o.). Diese neuartigen Eigenschaften können Metamaterialien ermöglichen.

„Dieser Fingerabdruck sagt nur aus, wie sich ein unendlich großer Block einer bestimmten Unit Cell verhalten wird. Aber in realen Anwendungen haben die Materialien endliche Größen“, erklärt Madeo. „Wenn man zum Beispiel Metamaterialien in einem Auto verwendet, werden sie vielleicht in einem schmalen Teil des Rahmens eingebaut. Dabei stellen sich eine Menge technischer und wissenschaftlicher Fragen: Wie verhält sich das Metamaterial im Kontakt mit einem herkömmlichen Stoff, oder wie verbindet man das Metamaterial mit einem anderen Metamaterial?“ Das Simulieren von Metamaterialien endlicher Größe in Kombination mit anderen (Meta-)Materialien ist sehr komplex. Doch genau das ist unverzichtbar, um die neuartigen Materialien in eine reale Anwendung zu bringen. „Deshalb heißt mein Projekt Meta-LEGO, weil wir versuchen zu verstehen, wie man verschiedene makroskopische Blöcke von endlicher Größe miteinander verbinden kann.“ Madeos Projekt wird seit 2021 mit einem begehrten ERC Consolidator Grant des Europäischen Forschungsrats

(European Research Council, ERC) in Höhe von zwei Millionen Euro gefördert.

Komplexe Geometrie bringt Rechner an Kapazitätsgrenze

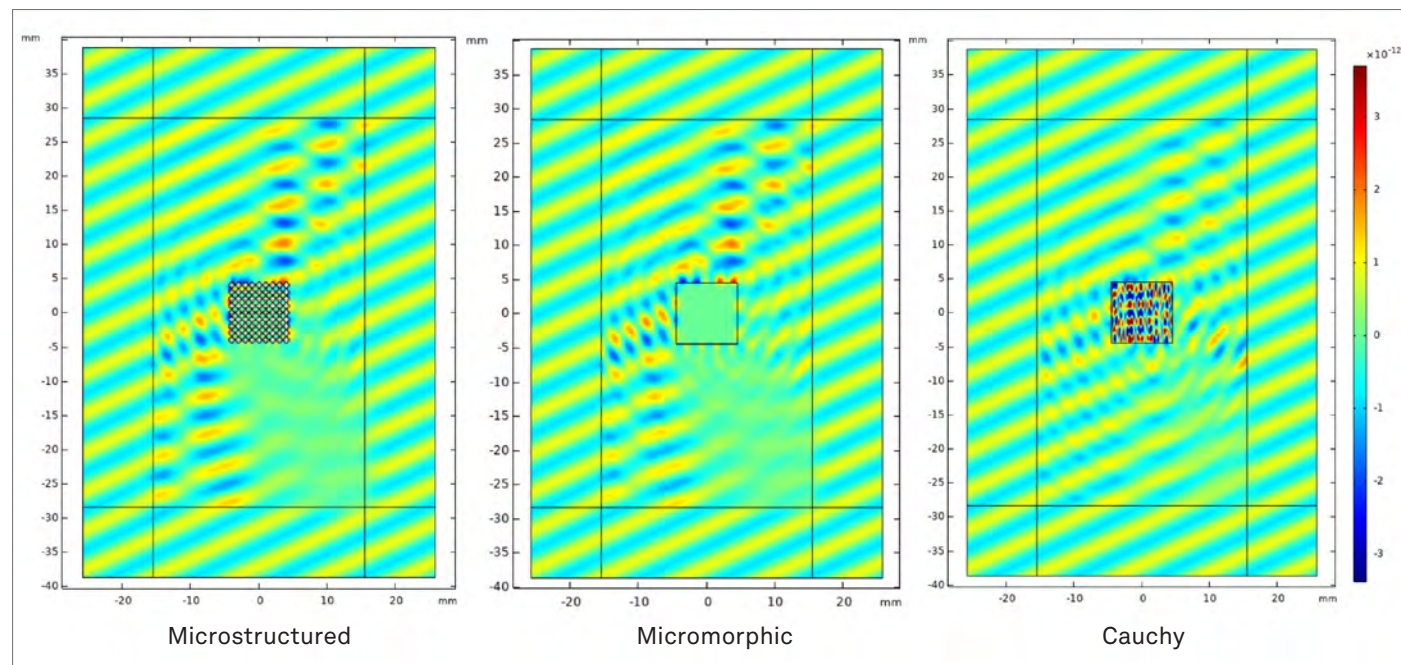
In der Theorie könnte auch eine numerische Software berechnen, wie sich eine begrenzte Anzahl an Unit Cells verhält und mit anderen Materialien interagiert. Doch die Geometrie der Unit Cells ist meist so kompliziert, dass sie auch leistungsfähige Rechner an ihre Kapazitätsgrenze bringt. Daher erforscht Prof. Madeo, wie man die Modelle, die die Software nutzt, vereinfachen kann, um die komplizierte Mikrostruktur in der Simulation zu ersetzen. „Das vereinfachte Modell kommt sehr nah an die Eigenschaften der numerischen Berechnung heran, sodass wir das Makroverhalten mit einem Bruchteil der Rechenkosten simulieren können“, erklärt Prof. Madeo.

Ihr wissenschaftlicher Werdegang kommt ihr dabei zugute. „Ich komme

aus der theoretischen und angewandten Mechanik, vor allem aus der Kontinuumsmechanik“, sagt Madeo. Diese beschäftigt sich mit der Modellierung von Materialverhalten auf der makroskopischen Ebene. Die Modelle ermöglichen es, das Verhalten von Materialien in verschiedenen Situationen vorherzusagen und zu verstehen. „Daher bin ich es gewöhnt, an Probleme praxisorientiert heranzugehen, anstatt auf alle Details zu achten.“

Madeo und ihr Team sind die ersten, die erweiterte Kontinuumsmodelle verwenden, um das Verhalten von Metamaterialien direkt auf der makroskopischen Skala zu modellieren. Dazu passen sie Formeln entsprechend an und übertragen sie in die Software, die die Berechnungen für die Simulation vornimmt. Mit ihrem Modell, das sich *relaxed micromorphic model* nennt, können nun begrenzt große Blöcke aus Metamaterial und ihre Wechselwirkung mit anderen Materialien simuliert werden – ein wichtiger Schritt, um Metamaterialien in die Anwendung zu bringen. Ihr Modell

Simulation einer mechanischen Welle, die durch ein Metamaterial (Viereck in der Mitte) geschickt wird. Im herkömmlichen Modell (links) ist die komplette Mikrostruktur des Metamaterials dargestellt – das Programm berechnet somit jede einzelne Unit Cell, was Rechner an ihre Kapazitätsgrenze bringt. Prof. Madeos vereinfachte Variante auf Basis eines erweiterten Kontinuumsmodells (Mitte) simuliert die Welle fast identisch. Dadurch dauert die Berechnung nur einen Bruchteil. Das klassische Kontinuumsmodell (rechts) ist nicht dazu geeignet, die Modellierung von Metamaterialien zu vereinfachen, da die Welle falsch berechnet wird.



können sie an dem „Fingerabdruck“ der numerischen Simulation testen und so prüfen, ob die Ergebnisse vergleichbar sind, und bei Bedarf die Parameter entsprechend anpassen. So können die TU-Forscher*innen für viele bereits entwickelte mechanische Metamaterialien ein passendes Modell erarbeiten, mit dem eine komplexere Anwendung simuliert werden kann.

Weiteres Forschungsprojekt geplant

Die Auswahl ist groß, doch Madeo und ihre Mitarbeiter*innen konzentrieren sich ganz konkret auf Unit Cells, die für Anwendungen im Bauwesen hilfreich sind. Zum Beispiel möchten sie ein Material für die Praxis entwickeln, das in der Lage ist, Lärm herauszufiltern. Dabei geht es im Wesentlichen um eher niedrige Frequenzbereiche zwischen 50 und 3.000 Hertz. „Wir konzentrieren uns darauf, wie wir die Unit Cells optimieren und zusammensetzen können und wie wir die anderen Materialien auswählen, aus denen die Wand oder Struktur besteht.“ Eine Idee ist, Fenster mit einer Sandwich-Struktur zu kreieren, die im Inneren geräuschhemmende Unit Cells enthalten. In einem anderen Ansatz untersuchen sie Materialien, die Vibrationen verschwinden lassen.



Oben: Fenster mit einer Schicht aus geräuschhemmenden Unit Cells könnten an Orten mit hoher Lärmbelastung zum Einsatz kommen. Unten: Metamaterialien könnten in Bahnhöfen die Vibrationen ein- und durchfahrender Züge hemmen.

Diese könnten zukünftig beispielsweise in Bahnhöfen zum Einsatz kommen, sodass ein- oder durchfahrende Züge nicht mehr spürbar wären.

Doch was passiert nach einer erfolgreichen Modellierung des Materials? „Unser gebautes Meta-Lego muss an einem Produkt getestet werden, um zu prüfen, ob es tatsächlich so funktioniert wie in der Simulation“, sagt Madeo. Sie plant daher ein weiteres Projekt, um die am Computer modellierten Unit Cells in einem 3D-Drucker herstellen und so auch in der echten Welt testen zu können. Dafür möchte sie einen Proof of Concept

Grant beim ERC beantragen. Dabei handelt es sich um eine ergänzende Förderung des Europäischen Forschungsrats für Wissenschaftler*innen, die bereits einen ERC Grant innehaben und ein Forschungsergebnis aus ihrem laufenden oder bereits abgeschlossenen Projekt über die Forschung hinaus weiter entwickeln möchten. Im Falle eines Erfolges könnte sie Patente beantragen und sich mit Unternehmen zusammenschließen, die das Metamaterial für den Markt produzieren könnten.

Adriane Koller

An aerial night view of a multi-lane highway with a digital overlay. The overlay consists of glowing blue circles around various cars on the road, connected by thin blue lines, representing a network or data flow. The highway is illuminated by streetlights, and the surrounding area is dark with some distant city lights.

Blick in die Blackbox

Es ist eine der erstaunlichsten Leistungen des Homo Sapiens: Der Mensch hat die Funktionsweise seines eigenen Gehirns nachgebaut. Künstliche neuronale Netze lernen selbstständig – und übertreffen dabei die Fähigkeiten ihrer Entwickler*innen regelmäßig. Wie die Künstliche Intelligenz (KI) genau vorgeht und welche Ergebnisse sie produziert, können wir kaum mehr nachvollziehen. Das sollten wir aber, findet Prof. Daniel Neider. Gemeinsam mit einem auf zwei Kontinente verteilten Team arbeitet er daran, KI vertrauenswürdig zu machen.

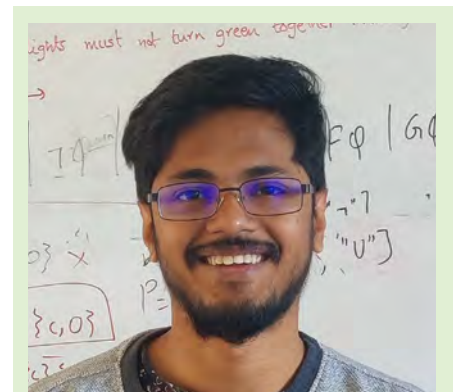
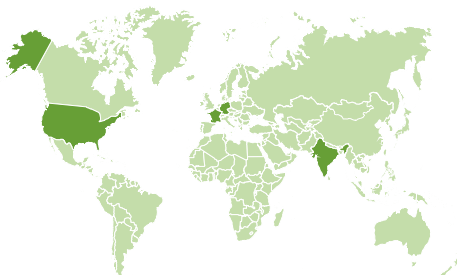
„Es ist für Menschen unmöglich, das Verhalten einer KI durch einfache Beobachtung vorherzusagen.“

In Kürze

Die Herausforderung
Der zunehmende Einsatz von KI-Systemen erfordert, dass Menschen sie verstehen können und begründetes Vertrauen in sie entwickeln.

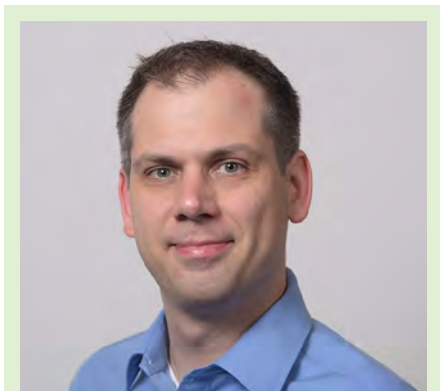
Die Lösung
Prof. Daniel Neider will das Verhalten autonomer Systeme mit temporalen Logikformeln verständlich darstellen. Zunächst zählen Ingenieur*innen, die mit den Systemen arbeiten müssen, zur Zielgruppe.

Internationale Kooperation



Rajarshi Roy ist Doktorand am Max-Planck-Institut für Softwaresysteme in Kaiserslautern. Seine Promotion im Fach Informatik wird von Prof. Daniel Neider betreut. Er studierte Mathematik und Informatik in Chennai (Indien).

Rajarshi Roy



Prof. Dr. Daniel Neider hat seit Ende 2022 die Professur „Verifikation und formale Garantien des Maschinellen Lernens“ inne. Die Professur ist die erste, die am neuen „Research Center Trustworthy Data Science and Security“ der Universitätsallianz Ruhr besetzt wurde, und ist an der Fakultät für Informatik der TU Dortmund verortet. Daniel Neider studierte Informatik und Wirtschaftsinformatik an der RWTH Aachen, wo er auch promovierte. Anschließend forschte er zwei Jahre lang als Postdoc an der University of Illinois at Urbana-Champaign (USA) und der University of California, Los Angeles (USA). Fünf Jahre lang arbeitete er am Max-Planck-Institut für Softwaresysteme in Kaiserslautern, bis er 2022 seine Habilitation in theoretischer Informatik an der TU Kaiserslautern einreichte. Nach einem Jahr als Professor für Sicherheit und Erklärbarkeit lernender Systeme an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg nahm er den Ruf an die TU Dortmund an.

Dortmund, Kaiserslautern, Austin (Texas) und Tempe (Arizona): In diesen Städten arbeiten die Mitglieder der international und interdisziplinär zusammengesetzten Gruppe um Prof. Daniel Neider und seinen Doktoranden Rajarshi Roy. Sie haben sich auf die Fahne geschrieben, Künstliche Intelligenz besser verstehbar und sie dadurch auch vertrauenswürdiger zu machen. Die fünf Forscher und eine Forscherin in diesen Städten kommen aus den USA und Deutschland, aber auch aus Indien und Frankreich. Wie kommt es zu dieser Zusammenarbeit über Tausende Kilometer?

Daniel Neider, theoretischer Informatiker und seit Ende 2022 Professor für Verifikation und formale Garantien des

Erklärung mit temporaler Logik	Erklärung in Worten
Immer (\Box impliziert immer \Box)	Wenn die Batterie der Drohne schwach ist, bleibt sie für die gesamte Flugbahn schwach.
Immer ($\Delta\theta_1$ impliziert $\Delta\theta_2$)	Wenn sich der Gierwinkel ändert, ändert sich auch der Rollwinkel.

\Box : schwache Batterie
 $\Delta\theta_1$: Änderung des Gierwinkels
 $\Delta\theta_2$: Änderung des Rollwinkels

Gieren um die z-Achse
 Rollen um die x-Achse

(X) Norden
 (Y) Osten
 (Z) Unten

Mit formaler Logik können Informatiker*innen zum Beispiel das Verhalten einer autonom fliegenden Drohne erklären. Diese mathematische Sprache richtet sich an Techniker*innen, die bei der Entwicklung ihrer Fahr- und Flugzeuge zwar Künstliche Intelligenz einsetzen, diese aber nicht im Detail verstehen.

Maschinellem Lernen am neu gegründeten „Research Center Trustworthy Data Science and Security“ der Universitätsallianz Ruhr, forschte zuvor in Kaiserslautern und noch früher als Postdoc in den USA. Dort lernte er Kollegen kennen, zu denen er die Verbindung hielt. „Inzwischen ist daraus eine langfristige Kooperation erwachsen mit mehreren Arbeiten, die aufeinander aufbauen. Wir ergänzen uns einfach und passen gut zusammen: Wir in Deutschland machen die theoretische Arbeit, die amerikanischen Kollegen die experimentelle“, sagt Neider.

Vertrauen durch Verständnis

Viele Entscheidungen, die Künstliche Intelligenz trifft, sind für den Menschen rätselhaft, unverständlich – und manchmal gar hoch umstritten. Dort,

wo wir uns bereits auf die vermeintliche Unbestechlichkeit und Objektivität Künstlicher Intelligenz verlassen, stellen wir fest, dass sie so objektiv gar nicht ist – eben weil die Daten, die die Grundlage ihrer Entscheidungen sind, häufig von Menschen stammen. So spiegeln sich rassistische Vorurteile wider, wenn Algorithmen in den USA Afroamerikaner*innen bei der Beurteilung ihrer Kreditwürdigkeit benachteiligten. Dass KI teils verheerende Fehler macht, erfuhr die Weltöffentlichkeit auch 2015 und 2018, als (teilweise) autonom fahrende Fahrzeuge in den USA tödliche Unfälle verursachten.

In Deutschland sind vollständig selbstfahrende Autos noch nicht zugelassen – weil sie noch nicht hundertprozentig sicher sind, und weil wir ihnen noch nicht vertrauen. „Es ist schwierig, einem System zu vertrauen, wenn man nicht genau weiß, wie es funktioniert. Das ist

unsere Arbeitshypothese“, sagt Neider. Seine Mission lautet: Vertrauen durch Verständnis.

Nun haben der durchschnittliche Fluggast oder die typische Pkw-Besitzerin auch wenig Ahnung, warum genau ein Flugzeug in der Luft bleibt und wie das eigene Auto funktioniert. Immerhin wissen das aber diejenigen, die Fahr- oder Flugzeuge bauen. Sie haben sie entwickelt und die Systeme darin programmiert; von ihrer Eingabe ins System hängt die Ausgabe ab. Gibt es einen Fehler im System, so lässt sich dieser in der Regel finden und das System umprogrammieren. „Bei der KI ist das anders. Anstatt dass Ingenieur*innen die Software programmieren, lassen sie einen Algorithmus über eine Masse Daten laufen und suchen nach Mustern. Das Problem: Irgendwann weiß niemand mehr, was intern genau passiert. Der Algorithmus hat ein Muster erkannt, aber

der Rest ist eine Blackbox“, schildert Neider. „Es ist für den Menschen in der Regel unmöglich, das Verhalten einer KI durch einfache Beobachtung vorherzusagen“, ergänzt Rajarshi Roy. „Unser Ziel ist es daher, für Menschen interpretierbare Modelle zu generieren.“ Anders gesagt: Das Team versucht, Licht in die Blackbox zu bringen.

Das ist zum einen nötig, um Vertrauen herzustellen. Zum anderen verlangen gesetzliche Vorgaben eine gewisse Transparenz der KI, zum Beispiel der *Artificial Intelligence Act* der Europäischen Union: Es muss künftig dargelegt werden können, warum jemand keinen Kredit bekommt – ein Verweis auf die höhere Vernunft datenbasierter Künstlicher Intelligenz reicht da nicht aus. „Unsere Forschung zielt dabei nicht auf den Endkunden ab, sondern zunächst einmal auf diejenigen, die mit KI arbeiten müssen: die Techniker*innen“, sagt Daniel Neider. „Wir wollen die Funktionsweise einer Künstlichen Intelligenz in ihrer Sprache beschreiben, mit den Methoden, die sie

schon kennen und die sie bereits erfolgreich anwenden, um klassische Hard- und Software sicher zu machen.“

Das Verhalten Künstlicher Intelligenz in eine mathematische Sprache, eine Programmiersprache rückübersetzen, so dass Ingenieur*innen sie verstehen – das ist grob das Ziel. Es hilft dem Verständnis, wenn man dabei an einen Aufzug denkt: ein Beispiel, das Neider auch bei seinen Studierenden häufig verwendet. Einen Aufzug kann man so programmieren, dass er immer wieder ins Erdgeschoss fährt, nachdem er seinen Auftrag beendet hat. Aber ist das auch das Optimale, um Fahrt- und Wartezeiten möglichst gering zu halten oder um Strom zu sparen? Eine KI könnte das herausfinden, indem sie Daten sammelt, z.B. Warte- und Fahrtzeiten. Außerdem könnten die Nutzer*innen des Aufzugs jede Fahrt bewerten. Je mehr Daten die KI bekommt, desto besser. „Am Ende funktioniert der Aufzug auf Grundlage der vorliegenden Daten vermutlich optimal – aber wir haben keine Ahnung,

wie genau“, sagt Neider. „Also beobachten wir, was die neue Steuerung tut, und beschreiben es in der Sprache der Ingenieur*innen.“

Ein Beipackzettel zur KI

Vielleicht möchten die Aufzug-Hersteller das von der KI als optimal errechnete Verhalten des Aufzugs trotzdem verändern – etwa, weil es spezielle Brandschutz-Vorgaben gibt, die die KI nicht berücksichtigt. Dann müssten die Entwickler*innen dafür sorgen, dass das System neue Dinge aus anderen Daten lernt. Die Möglichkeit einer solchen Analyse gibt es aber nur, wenn ein Verständnis für das Funktionieren des Systems da ist. „Reverse Engineering“ nennt Daniel Neider das: „Wir zerlegen die Komplexität wieder in einzelne Schritte und legen den Ingenieur*innen quasi einen Beipackzettel zur KI dazu.“ Der enthält zwar keine Risiken und Nebenwirkungen, dafür aber Formeln mit zeitlichen

Mit Künstlicher Intelligenz können zum Beispiel Aufzüge optimal ausgelastet werden. Für die Hersteller solcher Systeme beschreibt das Team um Prof. Neider genau, wie sich die KI verhält. Der „Beipackzettel“ besteht aus Formeln mit zeitlichen Operatoren und Wenn-Dann-Szenarien.



Operatoren und Wenn-Dann-Szenarien, die beschreiben, was ein System nie und was es immer tut, was es im nächsten Schritt tut, wenn x geschieht, und was, wenn künftig y gilt. „Wir schauen dabei nicht ausschließlich auf das Verhalten im Moment, sondern auf das Verhalten über die Zeit“, sagt Doktorand Roy, und Neider ergänzt: „Der temporale Aspekt ist unsere Nische. Die Übertragung der klassischen Methoden der Informatik auf die KI ist einer der Trends, die meine Gruppe erfolgreich mit vorantreibt. Langsam wird verstanden, dass Forscher*innen aus der klassischen Informatik, die in der Softwaresicherheit arbeiten, wertvolle Beiträge leisten können, um KI sicher und verständlich zu machen.“

Ein Prototyp ist bereits entwickelt, der für Expert*innen verständliche Beschreibungen des Verhaltens Künstlicher Intelligenz überzeugend generieren konnte – zumindest im Forschungssetting. „Es ist Grundlagenforschung“, sagt Daniel Neider, „und wir haben uns erst einmal kleine, nicht allzu komplizierte Systeme wie eine autonom fliegende Drohne herausgesucht, um sie zu verstehen bzw. zu beschreiben. Der nächste Schritt ist nun, das im Anwendungsbereich auszuprobieren, zum Beispiel gemeinsam mit Ingenieur*innen.“

Cristiano Ronaldo und die KI

Die Forschung an der Vertrauenswürdigkeit ist in der KI ein noch junges Thema, das aber zunehmend wichtig wird – weil KI in immer mehr Gebieten zum Einsatz kommt. Dafür rücken zwei traditionell getrennte, sich beinahe widersprechende Ansätze wieder zusammen: der induktive und der deduktive. Die klassische, deduktive Methode besteht darin, mit logischen Formeln und auf der Basis von Axiomen, also als unumstößlich geltenden Voraussetzungen, neue Fakten abzuleiten. Die induktive Methode sieht vor, aus Daten zu verallgemeinern, so wie es neuronale Netze tun. „Inzwischen erkennen wir jedoch, welchen Mehrwert eine Kombination der beiden Methoden haben kann“, sagt Daniel Neider. Der



Welche Spieler sind auf dem Feld? Noch ist diese Frage für Fernsehzuschauer*innen leichter zu beantworten als für eine KI. Letztere muss sehr aufwändig herausfinden, dass Cristiano Ronaldo nicht zweimal auf dem Spielfeld sein kann. Informationen wie diese wollen Informatiker*innen der KI künftig mitgeben, um sie effizienter zu machen.

Ansatz seines Teams besteht darin, das Beste aus den Ansätzen beider Welten zu nutzen: „Es geht darum, eine Regel zu verbinden mit den Daten, die man hat.“ Daniel Neider nennt ein anschauliches Beispiel: „Die KI soll anhand der Bilder einer Fußballübertragung herausfinden, welche Spieler auf dem Spielfeld sind. Für uns Menschen wäre es offensichtlich, dass zum Beispiel Cristiano Ronaldo nicht zweimal auf dem Spielfeld sein kann – das ist ein Axiom. Ein neuronales Netz muss das erst einmal sehr aufwändig herausfinden.“ Klar: Das System „sieht“ nie, dass Ronaldo zwei- oder mehrmals im Bild ist, und es erkennt, dass er entweder einmal oder keinmal drauf ist. So kommt es irgendwann zu dem Schluss: Ronaldo gibt es nur einmal. Informationen wie diese, physikalische Gesetze zum Beispiel, könnte man der KI mit ins System ge-

ben. Neider: „Das ist eine sehr spannende Entwicklung, sie macht die Prozesse dateneffizienter, schneller – und wohl auch weniger fehleranfällig.“

Katrin Pinetzki

The background features a night cityscape with illuminated buildings. Overlaid on this are numerous vertical blue lines of varying heights, each topped with a small blue dot, resembling a data visualization or a network diagram. At the bottom of the image, there are complex, wavy blue lines that look like data patterns or signal waveforms.

Statistik: Schlüssel zur Künstlichen Intelligenz

Die Mathematikerin Prof. Nadja Klein forscht an der Schnittstelle von Statistik und Maschinellem Lernen. Für Forscher*innen auf der ganzen Welt entwickelt sie Modelle, mit denen zum Beispiel der australische Energiemarkt, der internationale Waffenhandel oder die Baumvielfalt in Singapur besser verstanden werden können.

„Die Frage, wie gewiss oder ungewiss etwas ist, ist wichtig für das Vertrauen in intelligente Systeme.“

Prof. Nadja Klein



Prof. Dr. Nadja Klein hat am 1. April 2023 die Professur „Uncertainty Quantification and Statistical Learning“ angetreten. Die Stelle ist am neuen Research Center Trustworthy Data Science and Security der Universitätsallianz Ruhr und an der Fakultät Statistik der TU Dortmund verortet. Nadja Klein promovierte 2015 im Fach Mathematik an der Georg-August-Universität Göttingen. Anschließend forschte sie als Stipendiatin der Alexander-von-Humboldt-Stiftung rund zwei Jahre an der University of Melbourne, Australien, zu Bayesianischen Lernverfahren. Als Juniorprofessorin an der Humboldt-Universität zu Berlin warb sie 2019 bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft Fördermittel für eine Emmy Noether-Gruppe ein und wurde 2020 in die Junge Akademie aufgenommen, an der sie die AG Künstliche Intelligenz leitet. Von 2021 an war sie W3-Professorin für Statistik und Data Science an der Humboldt-Universität zu Berlin, bevor sie schließlich an die TU Dortmund wechselte.

In Kürze

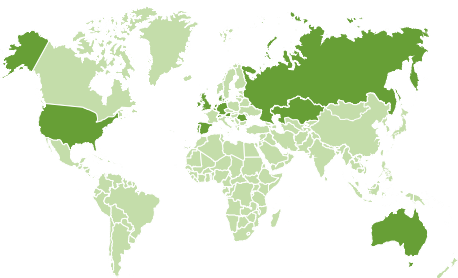
Die Forschung

Herkömmliche statistische Verfahren und Maschinelles Lernen werden mit sogenannter Bayesianischer Statistik kombiniert. Dadurch kann Vorwissen in Analysen eingebracht und die Unsicherheit der Aussagen quantifiziert werden.

Die Anwendung

In interdisziplinären Projekten mit Forschungsgruppen aus aller Welt kommen die neuen Modelle von Prof. Nadja Klein zum Einsatz: Die Anwendungsfelder reichen von Netzwerkanalysen über Medizin bis hin zum autonomen Fahren.

Internationale Publikationen



Neue Methoden an der Schnittstelle von Statistik und Maschinellern sind das Arbeitsfeld von Prof. Nadja Klein: „Mein Ziel ist es, reale Phänomene mit Hilfe von Daten besser zu verstehen“, sagt sie. Was ihre Forschung ausmacht, ist, dass sie dazu die sogenannte „Bayesianische Statistik“ nutzt. Diese ist nach dem englischen Wissenschaftler Thomas Bayes benannt, der bereits im 18. Jahrhundert zur Wahrscheinlichkeitstheorie forschte. Durch die Verfügbarkeit von Hochleistungsrechnern hat die Bayesianische Statistik in jüngster Zeit sprunghaft an Bedeutung gewonnen und ergänzt zunehmend etablierte Algorithmen des Maschinellen Lernens.

„Durch die Kombination herkömmlicher statistischer Verfahren und Algorithmen von intelligenten Systemen mit eben dieser Bayesianischen Statistik können wir nicht nur aus Daten lernen, sondern auch Vorwissen in unsere Modelle einbringen und damit beispielsweise verlässlichere Risikoabschätzungen machen“, erklärt Nadja Klein. Auf diese Weise können etwa die Daten aus Zulassungsstudien für neue Medikamente mit wichtigen Erkenntnissen aus Vorstudien in einem Modell kombiniert werden – um, vereinfacht gesagt, Krankheiten besser zu behandeln. Ein weiterer Vorteil ihres Ansatzes: Mit Bayesianischer Statistik können Unsicherheiten quan-



Gerade beim autonomen Fahren ist es wichtig, zu wissen, wie wahrscheinlich es ist, dass ein bestimmtes Manöver auch wirklich gefahren wird. Mit Bayesianischer Statistik können Forscher*innen solche Unsicherheiten nun quantifizieren.

tifiziert werden. Klassische Algorithmen des Maschinellen Lernens liefern zum Beispiel beim autonomen Fahren nur „Punktprognosen“ – also etwa, dass ein Auto in den nächsten zwei Sekunden seine Fahrtrichtung um 15 Grad ändern wird. „Dabei ist es aber noch wichtiger zu wissen, wie wahrscheinlich es ist, dass dieses Ereignis auch wirklich eintritt, um beispielsweise Unfälle zu vermeiden. Und das können wir mit unseren Modellen quantifizieren“, sagt die Forscherin.

Australien: Strompreise vorhersagen

Das diverse Team aus talentierten Nachwuchswissenschaftler*innen um Prof. Nadja Klein entwickelt nicht nur neue Methoden, sondern bringt diese auch in die Anwendung. Dabei arbeiten sie mit Expert*innen auf der ganzen Welt zusammen – an den unterschiedlichsten Themen. Diese Interdisziplinarität ist Chance und Herausforderung zugleich. „Ich lerne bei jedem neuen Projekt extrem viel, nicht nur auf der Methodenseite, sondern auch auf der angewandten Seite“, betont die Professorin. Als sie mit einem Kollegen an der Melbourne Business School zur Vorher-



Wenn neu entwickelte statistische Modelle in die Anwendung kommen sollen, treffen Maschinelles Lernen, Bayesianische Statistik und zum Beispiel Wirtschaftswissenschaften, Medizin oder Ökologie aufeinander.

sage von Strompreisen arbeitete, musste sie zunächst die komplexe Marktdynamik verstehen. „Wenn wir Methoden entwickeln wollen, die in der Praxis auch wirklich relevant sind, müssen wir tief in die Problemstellung und Ziele einsteigen und ganz genau verstehen, was da eigentlich passiert. Nur so können wir entscheiden, welche Methode geeignet ist, welche Limitationen zu berücksichtigen sind und was wir weiterentwickeln müssen“, erklärt sie.

So unterliegen Strompreise zum Beispiel extremen Schwankungen und es kommt darauf an, ob es Tag oder Nacht ist, Wochenende oder Wochentag, Sommer oder Winter. Hinzu kommen auch immer wieder beobachtete Ausreißer von Extrempreisen. „Mein australischer Kollege arbeitet mit Zeitreihen, die sehr hoch aufgelöst die tatsächliche Preisentwicklung abbilden“, berichtet Nadja Klein. „Um die Preise aber auch möglichst gut vorhersagen zu können,

mussten wir diese Daten mit dem Wissen um die saisonalen Schwankungen kombinieren und auch die Unsicherheit durch die Ausreißer methodisch in den Griff bekommen. Das ist sehr komplex und mit klassischen Verfahren kaum abzubilden.“ Ihr Team setzte daher auf eine Kombination aus statistischen Verfahren und Maschinellem Lernen.

Gerade zu Beginn solcher Kooperationen investiert das Team um Nadja Klein viel Zeit: Oft werden die gleichen Begriffe in anderen Zusammenhängen verwendet, manchmal müssen auch die Partner ihre Daten noch einmal neu aufbereiten, um sie überhaupt nutzbar zu machen. Auf der anderen Seite müssen Nadja Klein und ihr Team ihre Methoden so erklären, dass auch die fachfremden Gegenüber sie verstehen. Erst dann können sie gemeinsam echte Daten und komplizierte Zusammenhänge in die abstrakte Welt eines Modells übertragen, bei dem am Ende mehrere Formeln herauskommen, mit denen man zum Beispiel Strompreise vorhersagen kann. „Wenn es dann klappt, die Resultate erklärbar wieder in die reale Welt zu übertragen, sind wir umso zufriedener.“

Ein ‚i-Tüpfelchen‘ ist dann noch, wenn wir den Nutzen der neu gewonnenen Erkenntnisse in der Praxis verfolgen können“, sagt die Professorin.

Ihre Kooperationen mit der Universität Melbourne und der Melbourne Business School haben lange Tradition: Kurz nach der Promotion an der Universität Göttingen im Jahr 2015 traf Nadja Klein kurz vor Weihnachten bei einer Konferenz auf Prof. Michael Smith. Der Statistiker und Ökonometriker inspirierte die junge Wissenschaftlerin mit seiner Forschung. „Wir knüpften Kontakt und arbeiteten recht schnell gemeinsam an meiner Bewerbung um ein Feodor-Lynen-Fellowship der Alexander von Humboldt-Stiftung bei ihm“, berichtet sie. Erst beim Einreichen der finalen Unterlagen habe sie festgestellt, dass ihr potenzieller Gastgeber in Melbourne sitzt – am anderen Ende der Welt. „Ich war vorher noch nie weiter weg als Spanien“, erinnert sie sich. Als die Zusage kam, zögerte sie nicht lange und entschied, für einen zweijährigen Forschungsaufenthalt nach Melbourne zu gehen. „Das war eine Zeit, die mich sowohl fachlich als auch persönlich sehr weitergebracht

hat und die ich sehr wertgeschätzt habe“, blickt die Wissenschaftlerin zurück. Seitdem hat sich ihr Netzwerk von Forscher*innen, mit denen Sie regelmäßig im Austausch ist, stark erweitert – nicht nur in Melbourne, sondern beispielsweise auch an verschiedenen Einrichtungen in Sydney, Brisbane oder Adelaide. Auch 2023 steht noch einmal ein Forschungsaufenthalt in Australien auf ihrem Programm.

Singapur: Baumvielfalt erhalten

Von Nadja Kleins internationalen Kontakten profitieren auch ihre wissenschaftlichen Mitarbeiter*innen: So war ihr Doktorand Lucas Kock bereits zweimal für je vier Wochen in Singapur, um ein methodisches Projekt voranzutreiben. In einem der Projekte von Nadja Klein mit der National University of Singapore geht es um das Thema Baumvielfalt. „Wir dürfen dabei mit Daten arbeiten, die bislang noch niemand genutzt hat“, sagt sie. Ziel ist es, mit Hilfe neuer Modelle und Methoden Schwankungen in dort heimischen, tropischen Baumar-

ten besser zu verstehen. Einfach gesagt, könnte man die Erkenntnisse aus dem Projekt für die Beantwortung aktueller Fragen nutzen. Etwa: Wie kann man den Wald gezielt gesund erhalten und bepflanzen oder Waldsterben verhindern? Wie können Städte mit Hilfe von Bäumen klimaresilienter werden? Aktuell steckt das Team mitten in der Methodenentwicklung. Dabei profitieren die Forscher*innen auch von ihren Vorgängerprojekten zum Thema Artenvielfalt.

Gemeinsam mit Kolleg*innen aus der Ökologie hat Nadja Klein zum Beispiel sogenannte „prey-predator models“ weiterentwickelt, die das Räuber-Beute-Verhältnis – wie das von Wiesel und Wühlmäusen – beschreiben. Ihre Modelle können einen Beitrag zu Antworten auf Fragen liefern wie: Wer frisst wen in welchem Umfang und welchen Einfluss hat das auf die Artenentwicklung über die Zeit? Wie verhält sich die Artenvielfalt grundsätzlich? Wie verändert sie sich? Welchen Einfluss haben äußere Faktoren? Die Zusammenhänge seien so komplex, dass herkömmliche Methoden sie nicht abbilden könnten, sagt Nadja Klein: „Wir haben es mit beinahe chaotischen Systemen und komplizierten Differentialgleichungen zu tun. Mit Hilfe der Bayesianischen Statistik können wir die vielen unbekannt Parameter in diesem System aber relativ gut – und überhaupt erst – miteinbeziehen und schätzen.“

Europa und Deutschland: Waffenhandel und autonomes Fahren

Zum Erfahrungsschatz der Mathematikerin gehören auch komplexe Analysen politischer oder sozialer Netzwerke. Am Beispiel Waffenhandel wird deutlich, wie komplex Netzwerke werden können: Welche Länder handeln Waffen mit welchem Land? Wer exportiert wohin und wer importiert von wo? „Man möchte nicht nur die Zusammenhänge besser verstehen“, erklärt Nadja Klein das Ziel von Netzwerkanalysen. Mit Bayesianischer Statistik kann ihr Team auch die herkömmliche Netzwerkstatistik bereichern, denn: je größer und komplexer



Wer frisst wen und in welchem Umfang? Die Artenentwicklung über die Zeit zu beobachten, Zusammenhänge zu erkennen und daraus Prognosen abzuleiten, ist extrem kompliziert. Hierbei helfen neue statistische Modelle, die auch unbekannte Parameter schätzen und einbeziehen können.

das Netzwerk, desto schlechter sind klassische Verfahren anwendbar. „Approximative Verfahren der Bayesianischen Statistik sorgen in diesem Fall für die notwendige Skalierbarkeit“, sagt die Wissenschaftlerin. „Außerdem kann sie zusätzlich zu den Daten der Netzwerkstatistik – also etwa die Knoten im Netzwerk – auch weitere exogene Variablen aufnehmen und dadurch unbeobachtete Heterogenität erklärbar machen.“ In dem Projekt zum Waffenhandel forscht Nadja Klein gemeinsam mit Partnern der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Partner für ihre Anwendungsprojekte findet die Forscherin auch in der Wirtschaft. Im Rahmen seiner Dissertation entwickelt ihr Doktorand Christian Schlauch gemeinsam mit dem Technologieunternehmen Continental in dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Projekt „KI Wissen“ Verfahren des Maschinellen Lernens, die verschiedene Wissensquellen integrieren können – zum Beispiel Welt- oder Expertenwissen. Dazu nutzt er kontinuierliche bzw. lebenslange Lernverfahren und probabilistische Modelle. Der Vorteil: „Diese Herangehensweise ermöglicht Zuverlässigkeitsaussagen, die beim autonomen Fahren

besonders wichtig sind, um Sicherheitsanforderungen erfüllen zu können“, erklärt Nadja Klein.

Ihre Forschung in diesem Spannungsfeld von Herausforderungen und Möglichkeiten möchte die Mathematikerin auch an ihrer neuen Dienststätte weiter vorantreiben: Zum 1. April hat sie ihre Professur „Uncertainty Quantification and Statistical Learning“ am Research Center Trustworthy Data Science and Security der Universitätsallianz Ruhr, das sich derzeit im Aufbau befindet, und an der Fakultät Statistik der TU Dortmund angetreten. „Ich möchte meine Professur zu einer Brückenprofessur zwischen den Fakultäten Statistik, Mathematik und Informatik sowie den empirischen Fachbereichen ausbauen und dabei auch Synergien zu meinem internationalen Netzwerk schaffen“, sagt Nadja Klein. „Die Frage, wie gewiss oder ungewiss etwas ist, ist wichtig für das Vertrauen in intelligente Systeme. Hier kann und möchte ich mit meinem Team einen sichtbaren Beitrag leisten.“

Lena Reil

Wie können Städte klimaresilienter werden? Dank der Modelle von Prof. Nadja Klein und ihrem Team können Forscher*innen zum Beispiel aus den Daten zur Baumvielfalt in Großstädten neue Erkenntnisse gewinnen.



Fakten gegen Fakes

Prof. Christina Elmer und Stephan Mündges vom Institut für Journalistik leiten gemeinsam das German-Austrian Digital Media Observatory – eines von 14 europäischen Zentren, die zusammen mit Praxispartnern Des- und Falschinformation bekämpfen und wissenschaftlich untersuchen möchten.



„Quellen selbstständig recherchieren und einordnen zu können, ist eine Voraussetzung, um verantwortungsbewusst und kritisch mit Medien umzugehen.“

Prof. Christina Elmer



Prof. Christina Elmer vom Institut für Journalistik ist seit 2021 Professorin für Digitalen Journalismus/Datenjournalismus an der TU Dortmund. Nach dem Studium der Journalistik und Biologie an der TU Dortmund und einem Volontariat beim WDR hat sie unter anderem als Redakteurin für Datenjournalismus bei der dpa und im Team investigative Recherche des STERN gearbeitet. Seit 2007 war sie zudem als Dozentin für Online-Recherche und Datenjournalismus an verschiedenen Hochschulen tätig. Vor ihrer Berufung auf die deutschlandweit erste Professur für Digitalen Journalismus/Datenjournalismus hat Elmer acht Jahre bei DER SPIEGEL gearbeitet, wo sie unter anderem Leiterin des Ressorts Datenjournalismus und stellvertretende Entwicklungschefin war. Ihre Forschungsschwerpunkte sind die Weiterentwicklung des Datenjournalismus sowie Formate und Prozesse des Digitaljournalismus.



Stephan Mündges ist seit 2021 Manager des Instituts für Journalistik (IJ) an der TU Dortmund. Nach seinem Studium der Journalistik und Geschichte an der TU Dortmund und der Ruhr-Universität Bochum und einem Volontariat beim ZDF war er acht Jahre lang Autor und Redakteur in der Hauptredaktion Wirtschaft des ZDF. Neben weiteren Stationen beim ZDF und Newsguard Technologies war er von 2016 bis 2021 zudem als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IJ tätig. Seine Forschungsschwerpunkte sind die digitale Transformation des Journalismus, Journalismus auf Drittplattformen sowie Desinformation und Falschnachrichten.

In Kürze

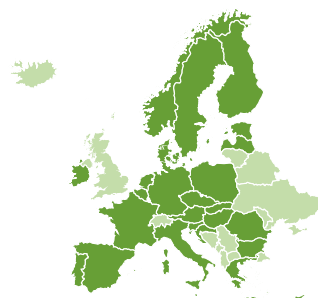
Das Problem

Desinformationen verbreiten sich über digitale Plattformen heutzutage schneller als je zuvor und mittels Künstlicher Intelligenz erzeugte, manipulierte Inhalte sind immer schwieriger mit bloßem Auge zu erkennen.

Das Ziel

Die an GADMO beteiligten Forschungs- und Praxispartner möchten Faktenchecks besser zugänglich machen und Desinformationskampagnen wissenschaftlich untersuchen, um sie künftig gezielter bekämpfen zu können.

Internationale Kooperation



Ein zerstörter Panzer liegt auf einem Schlachtfeld, Rauch steigt auf. Die Szene soll den ersten von Russland zerstörten westlichen Leopard-Panzer in der Ukraine zeigen. Doch das Foto stammt gar nicht aus dem Krieg gegen die Ukraine, wie die Faktencheck-Redaktion von AFP Anfang März aufdeckt. Die Journalist*innen zeigen mehrere Ungeheimheiten auf und können unter anderem mittels einer Bilderrückwärtssuche belegen, dass das Foto mindestens seit 2018 im Internet kursiert und einen Panzer zeigt, der bei Kampfhandlungen infolge des syrischen Bürgerkriegs zerstört wurde.

„Lügen und Falschinformationen hat es immer schon gegeben, aber sie verbreiten sich heute schneller als je zuvor und werden insbesondere von politischen Interessengruppen gezielt eingesetzt“, sagt Prof. Christina Elmer vom Institut für Journalistik (IJ). „Alte Fotos in neue Kontexte zu setzen, ist dabei ein gängiges und immer wiederkehrendes Muster“, ergänzt Stephan Mündges, Manager des IJ. Gemeinsam leiten sie GADMO, das German-Austrian Digital Media Observatory. In dem Projekt arbeiten das Institut für Journalistik und die Fakultät Statistik seit 2022 mit dem Austrian Institute of Technology (AIT) sowie den Faktencheck-Redaktionen der Deutschen Presseagentur (dpa), der Agence France-Presse (AFP), der Austria Press Agentur (APA) und dem Recherche-Netzwerk CORRECTIV zusammen.

Ziel von GADMO ist es unter anderem, Faktenchecks im deutschsprachigen Raum auf einer gemeinsamen Website zu bündeln und so einem möglichst breiten Publikum zugänglich zu machen. Zudem sollen Synergien geschaffen und Faktenchecker*innen in ganz Europa gestärkt werden. Denn GADMO ist Teil des internationalen, von der Europäischen Kommission geförderten Netzwerks EDMO, dem European Digital Media Observatory. Zu EDMO gehören neben GADMO noch 13 weitere regionale Zentren, die in allen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union und Norwegen aktiv sind. „Die Zusammenarbeit mit den internationalen Partnern funktioniert sehr gut“, berichtet Mündges. „Zusätzlich zur zentralen Koordinierungsstelle am European University Institute in Florenz, mit der ich in engem Austausch stehe, gibt es verschiedene Arbeitsgruppen, in denen Vertreter*innen aller Zentren zusammenkommen, sich austauschen und gemeinsam Projekte vorantreiben.“ Monatlich werden von EDMO Fact Checking Briefs veröffentlicht mit kurzen Berichten über die Themen, an denen die Faktenchecker*innen derzeit arbeiten. „Diese richten sich einerseits an die breite Öffentlichkeit und sind andererseits für Journalist*innen in ganz Europa interessant, da bestimmte Narrative häufig in weitere Länder

German-Austrian Digital Media Observatory

- **Förderung:** seit November 2022 für zweieinhalb Jahre von der Europäischen Kommission
- **Netzwerk:** European Digital Media Observatory (EDMO) mit insgesamt 14 europäischen Zentren
- **Technischer Partner** ist das Athens Technology Center
- **Beteiligt von der TU Dortmund:** Prof. Christina Elmer, Stephan Mündges und Prof. Henrik Müller (Institut für Journalistik) sowie Prof. Carsten Jentsch und Prof. Jörg Rahnenführer (Fakultät Statistik)
- **Vier Ziele:**
 1. Zugang zu deutschsprachigen Faktenchecks verbessern
 2. Desinformationskampagnen und Faktenchecks wissenschaftlich untersuchen, medienforensische KI-Werkzeuge entwickeln
 3. Medienkompetenz in Deutschland und Österreich fördern
 4. Digitale Plattformen beobachten



Dieses in den sozialen Medien kursierende Foto soll den ersten westlichen Leopard-Panzer, den Russland während des Kriegs gegen die Ukraine zerstört hat, zeigen. Tatsächlich kursiert das Foto aber mindestens seit 2018 im Netz und zeigt einen im syrischen Bürgerkrieg zerstörten Panzer.

überschwappen. So kann der Service auch als Frühwarnsystem dienen“, sagt Mündges.

Fragmentierung der Gesellschaft

Wie groß ist denn die Gefahr, die von Desinformationskampagnen ausgeht? „Wir wollen uns mit überzogenen Warnungen – wie dem Zerbrechen der Gesellschaft oder der Zerstörung der Demokratie – nicht unglaubwürdig machen“, sagt Mündges. „Unbestritten ist

aber, dass wir klare Effekte wie eine deutliche Radikalisierung an den ideologischen Rändern beobachten.“ Gezielt eingesetzte Falschinformationen vergiften öffentliche Debatten und es besteht die Gefahr, dass gesellschaftliche Konflikte angefacht werden und grundsätzliches Vertrauen in Institutionen verloren geht. Eine Zunahme manipulierter Inhalte kann dazu führen, dass Bürger*innen nicht mehr wissen, was sie eigentlich noch glauben und wem sie vertrauen können. Das führt irgendwann zu Resignation – und genau diesen Mechanismus, Zweifel und Misstrauen

zu säen, machen sich Desinformationsakteure zunutze.

„Auf diese Weise gehen gesellschaftliche Partizipation und demokratische Legitimation verloren. Statt einer Spaltung ist also eher eine Lähmung und Fragmentierung der Gesellschaft zu befürchten“, erklärt Mündges. Wer etwa in einschlägigen Telegram-Gruppen kontinuierlich mit Falschinformationen versorgt wird, kann irgendwann durch seriösen Journalismus kaum mehr erreicht werden. „Daher ist es umso wichtiger, dass der Qualitätsjournalismus sich selbst noch stärker legitimiert, indem er immer auch die Methoden der journalistischen Recherche und Verifikation vermittelt und somit nachvollziehbar macht, warum die eigene Arbeit glaubwürdig ist“, sagt Elmer.

Neben den Faktenchecks bildet die begleitende Forschung eine zentrale Säule von GADMO und den übrigen Zentren. Dabei arbeiten das IJ und die Fakultät Statistik, die bereits in anderen Projekten erfolgreich kooperieren, eng zusammen. Mittels statistischer Verfahren untersuchten die Forscher*innen, welche Themen von den Faktencheck-

Teams in den vergangenen fünf Jahren behandelt worden sind. Dafür haben sie rund 5.000 Texte mithilfe des Top-Modelling-Verfahrens LDA unterschiedlichen Themenfeldern zugeordnet, um aufzuzeigen, wann und zu welchen Themen besonders viele Faktenchecks produziert wurden.

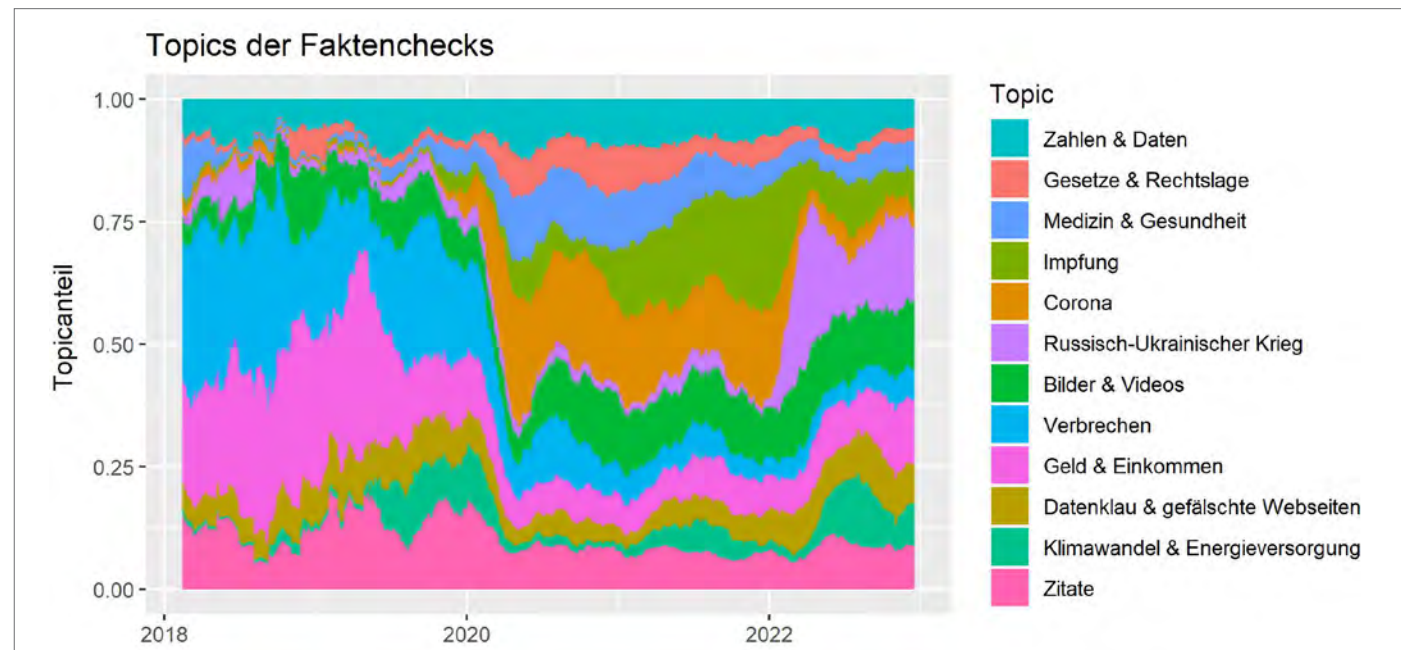
Verbreitungsmuster erkennen

Auffällig ist, dass die Faktencheck-Teams mit dem Aufkommen der Corona-Pandemie deutlich weniger Texte zu den Themen Kriminalität sowie Geld & Einkommen veröffentlicht haben. Das ist interessant, weil die Faktenchecks in beiden Bereichen häufig Behauptungen prüfen, bei denen Personen mit ausländischer Nationalität, Menschen mit Migrationshintergrund oder Geflüchtete vorkommen – eigentlich ein ‚Dauerbrenner‘ in Sachen Desinformation. Doch ab dem zweiten Quartal 2020 fällt der Anteil dieser beiden Themenfelder deutlich zugunsten der drei Covid-19-Themenfelder Corona, Impfung und Gesundheit & Medizin. Im ersten Quartal 2022 verdrängt dann

der russische Krieg gegen die Ukraine einen Teil der Faktenchecks zu Corona. „Das sind Effekte, die wir auch aus dem Journalismus kennen und die sich hier wiederfinden“, sagt Elmer. „Unklar ist noch, warum sich die Anteile entsprechend ändern: Wurden mit Beginn der Pandemie weniger Behauptungen mit rassistischem oder fremdenfeindlichem Unterton verbreitet und sind Falschmeldungen zu Corona nach dem Überfall auf die Ukraine kein so großes Thema mehr? Oder hat sich lediglich der Fokus der Faktenchecker*innen verschoben? Das untersuchen wir derzeit.“

Eine weitere Frage, mit der sich die Forscher*innen beschäftigen, ist, wie sich Desinformationskampagnen verbreiten. „Da die Kampagnen strategisch gesteuert werden, liegt die Vermutung nahe, dass sie spezifische Spuren hinterlassen und andere Muster entstehen als bei der Verbreitung klassischer Nachrichten“, erklärt Elmer. „Wir hoffen, durch Datenanalysen diese Muster aufzeigen zu können, damit sie unter anderem bei der Früherkennung helfen können – wenn also ein Narrativ plötzlich auftaucht und sich verdächtig verbreitet.“

Die Grafik zeigt, wie häufig bestimmte Themen seit 2018 in den Faktenchecks der GADMO-Partner vorgekommen sind. Deutlich zu erkennen ist, dass das Thema Corona die Teams ab Anfang 2020 stark beschäftigt und der Anteil mit Ausbruch des Kriegs gegen die Ukraine Anfang 2022 schlagartig weniger wird.

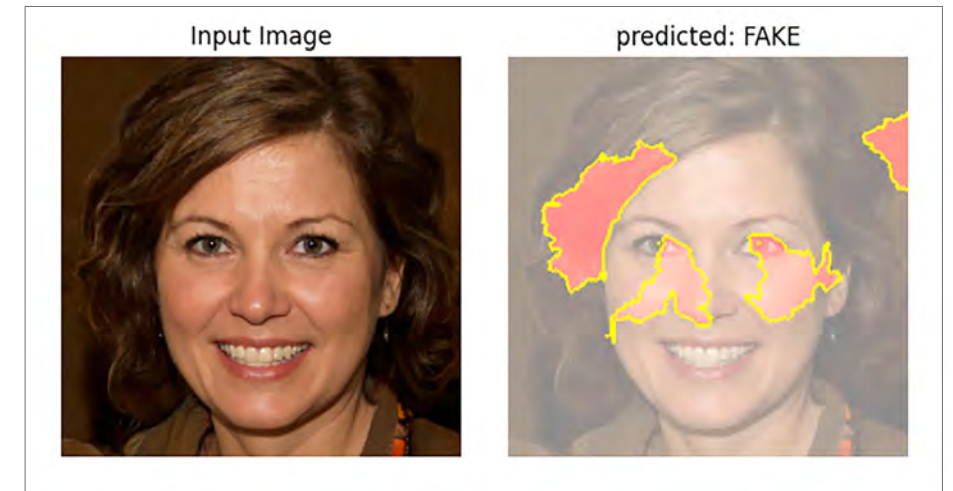


Das Austrian Institute of Technology in Wien entwickelt im Rahmen von GADMO medienforensische Werkzeuge, die mittels Künstlicher Intelligenz (KI) dabei unterstützen sollen, KI-erzeugte Manipulationen aufzudecken. Dabei stehen vor allem Bilder und Videos im Fokus sowie Ansätze, die auf lernenden Algorithmen basieren. Auf diese Weise können auch umfangreiche Datensätze auf Spuren von Manipulationen oder synthetisch erzeugten Inhalten untersucht werden.

Als Assistenzsystem in den Faktencheck-Redaktionen können KI-Anwendungen also eine große Hilfe bei der Recherche sein, doch die zugrundeliegende Technologie ist zugleich ein wachsendes Problem, da sie zunehmend zur Erstellung von Fakes eingesetzt wird. Mit generativen KI-Systemen lassen sich innerhalb kürzester Zeit Texte, Bilder oder Musik erzeugen – und die Ergebnisse werden immer besser. „Aktuell ist es hilfreich, auf Details zu achten: Artefakte wie beispielsweise sechs Finger entlarven ein Foto schnell als Fake. Doch die Systeme entwickeln sich mit einer enormen Geschwindigkeit weiter, sodass es bald wohl kaum noch möglich sein wird, Manipulationen und Fälschungen mit bloßem Auge zu erkennen“, prognostiziert Elmer.

Medienkompetenzen stärken

Aus diesem Grund werden Medienkompetenzen wie die Suche nach Informationsquellen und deren Bewertung immer wichtiger. Diese Fähigkeiten in der Bevölkerung zu stärken, ist ein weiteres Ziel von GADMO. „Quellen selbstständig recherchieren und einordnen zu können, ist eine Voraussetzung, um verantwortungsbewusst und kritisch mit Medien umzugehen“, sagt Elmer. Um Bürger*innen gegen Desinformationen im Netz zu wappnen und die Medienkompetenz in Deutschland und Österreich nachhaltig zu stärken, planen die beteiligten Faktencheck-Redaktionen verschiedene Kampagnen und Veranstaltungen und stellen Online-Kurse zum Selbststudium bereit.



Manipulierte Dateien zeigen häufig charakteristische Spuren, die auf eine Fälschung hindeuten und von medienforensischen KI-Werkzeugen aufgedeckt werden können. Das „Input Image“ stammt von der Seite this-person-does-not-exist.com. Die vom Austrian Institute of Technology entwickelte Software klassifiziert es korrekterweise als Fälschung.

Die schnelle und exponentielle Verbreitung von Desinformationen ist überhaupt erst durch digitale Plattformen und soziale Netzwerke möglich geworden. Deren Beobachtung ist daher die vierte Säule von GADMO. Auch wenn die Plattformbetreiber in den vergangenen Jahren verschiedene Maßnahmen ergriffen haben, bleiben manipulative, irreführende und falsche Inhalte etwa auf YouTube, Facebook, Instagram oder TikTok ein Problem und es ist noch viel Luft nach oben, so Mündges. Zudem sind die Plattformen verpflichtet, ihre Daten für Forschungsprojekte zugänglich zu machen, was sich in der konkreten Umsetzung jedoch sehr schwierig gestaltet.

2018 hat die Europäische Kommission daher einen Code of Practice on Disinformation veröffentlicht, der zunächst Empfehlungen und inzwischen Verpflichtungen enthält, wie Plattformen gegen Desinformation vorgehen und welche Informationen sie der Öffentlichkeit in diesem Rahmen bereitstellen müssen. Die Einhaltung des Kodex in Deutschland und Österreich zu überprüfen, ist ebenfalls Aufgabe von GADMO.

Ist der Kampf gegen Desinformation denn nicht eigentlich aussichtslos? „Er ist in jedem Fall äußerst recherchaufwendig und zeitintensiv, aber

er lohnt sich“, sagt Mündges. Und Elmer ergänzt: „Es ist wichtig, sich dem Thema zu stellen, auch wenn es sehr komplex ist, denn es betrifft letztlich die gesamte Gesellschaft.“ Extreme Verschwörungsanhänger*innen oder politische Randgruppen wird man durch Faktenchecks sicherlich nicht von ihrer Meinung abbringen, doch wenn all jene, die Zweifel haben und sich informieren möchten oder in ihrem Umfeld mit Desinformation konfrontiert werden und Antworten suchen, auf den Websites von GADMO und den anderen EDMO-Zentren fündig und allgemeine Medienkompetenzen geschult werden, ist schon viel gewonnen.

Lisa Burgardt

Faszination Universum

Woraus das Universum besteht, fragen sich Menschen seit Jahrtausenden. Stück für Stück erarbeiten sich Forschende neues Wissen, um die Teilchen, die aus dem Universum auf die Erde kommen, zu untersuchen. Vor allem Methoden der Künstlichen Intelligenz versprechen neue Erkenntnisse. Der Physiker Dr. Dominik Elsässer begibt sich auf eine Zeitreise und wirft einen Blick in die Zukunft.



Himmelscheibe von Nebra, 2100–1700 v. Chr.



Privatdozent Dr. Dominik Elsässer ist seit 2015 an der Fakultät Physik der TU Dortmund tätig. Er hat Physik an der Universität Würzburg studiert und dort im Jahr 2012 auch promoviert. Nach einer Lehrstuhlvertretung im Jahr 2015 an der Ruhr-Universität Bochum wechselte er an die TU Dortmund. Seine Habilitation im Fach Physik hat er hier im Jahr 2021 abgeschlossen. Seine Forschungsschwerpunkte sind Hochenergie-Astrophysik und Radioastronomie, kosmische Beschleuniger sowie die Suche nach der dunklen Materie.

In Kürze

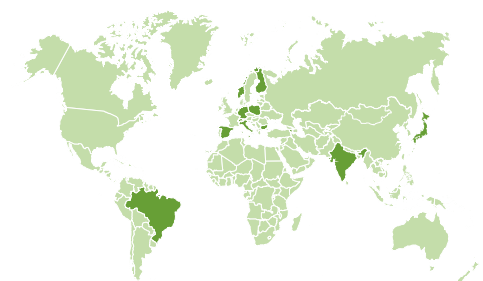
Die Beobachtungen

Seit rund 20 Jahren beobachten die MAGIC-Teleskope auf La Palma Gammastrahlenausbrüche am Nachthimmel. Aus den Beobachtungen gewinnen Forscher*innen Hinweise auf die Vorgänge im Universum.

Die Methoden

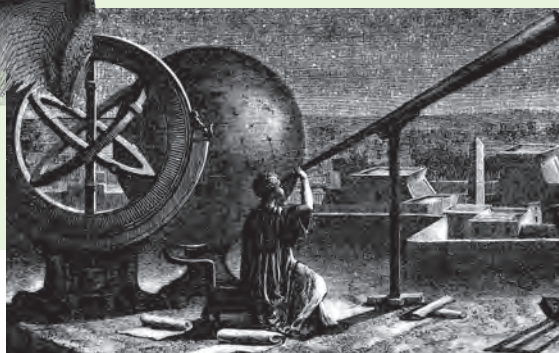
In Zukunft verspricht vor allem das interdisziplinäre Zusammenspiel aus Beobachtungen der Astroteilchenphysik und Methoden der Datenwissenschaften – mit Künstlicher Intelligenz und Maschinellem Lernen – neue Erkenntnisse.

Internationale Kooperation

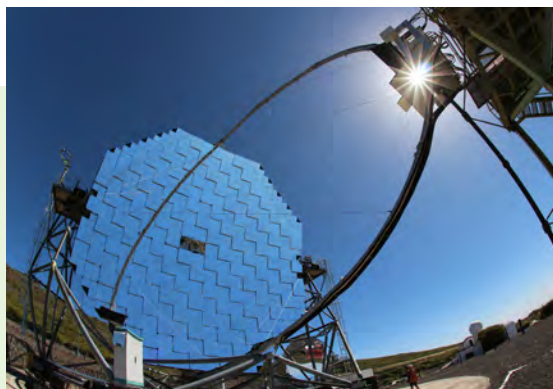


vor 3600 Jahren – Fundamentale Menschheitsfragen

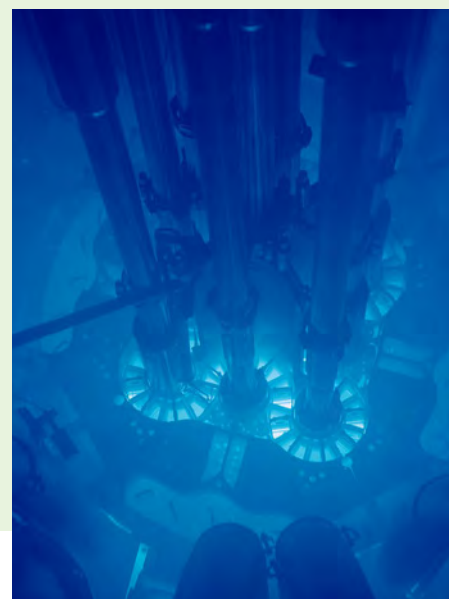
„Die Faszination dafür, was das Universum ist und was dort geschieht, begleitet die Menschheit seit tausenden von Jahren. Wir gucken in den Himmel und fragen uns, was uns da eigentlich umgibt“, sagt Dr. Dominik Elsässer. Wir starten unsere Zeitreise vor mehr als 3600 Jahren: Die „Himmelscheibe von Nebra“, gefertigt aus Bronze und mit Goldauflagen versehen, zeigt die weltweit älteste konkrete Darstellung astronomischer Phänomene, die wir kennen. Sie ist heute im Landesmuseum für Vorgeschichte in Halle an der Saale zu sehen. Noch im 19. Jahrhundert war das sichtbare Licht die einzige Information, die die Menschen nutzen konnten, um Himmelsobjekte zu studieren: Sonne, Mond, die Planeten des Sonnensystems und die Sterne der Milchstraße.



Das sichtbare Licht der Sterne und Planeten war alles, was die frühen Astronomen wie Kopernikus (links) und Galilei untersuchen konnten.



17 Meter Durchmesser haben die Spiegelflächen eines MAGIC-Teleskops, das auf der Suche nach den Spuren von Gammastrahlung aus dem Universum ist.



Tscherenkov-Licht ist am Nachthimmel zu sehen, wenn Gammastrahlung auf die Erdatmosphäre trifft. Das bläuliche Licht kennt man auch aus Abklingbecken von Kernreaktoren.



Wissenschaftler*innen aus der ganzen Welt forschen – oft in einer frühen Karrierephase – gemeinsam in der MAGIC-Kollaboration.



Auf 2.200 Metern über dem Meeresspiegel stehen die Teleskope, die von den Forscher*innen auch liebevoll „twins“ genannt werden.

Aktive Galaxienkerne, sogenannte Blazare, senden Gammastrahlen aus, die unsere Erdatmosphäre erreichen.



Auch Physikstudierende der TU Dortmund sind regelmäßig auf La Palma im Einsatz, wie Kevin Schmidt (r.) im Frühjahr 2022.



vor 480 Jahren – Heliozentrisches Weltbild

Ob Nikolaus Kopernikus, Galileo Galilei oder Johannes Kepler – die frühen Astronomen konzentrierten sich darauf, die Positionen von Sternen und Planeten zu beobachten und niederzuschreiben. In der frühen Neuzeit verändert sich die Welt der Astronomie für immer: Obwohl bereits die antiken Griechen wussten, dass sich die Erde um die Sonne dreht, gilt Kopernikus seit 1543 als Begründer des heliozentrischen Weltbilds. Es sollten aber noch Jahrzehnte vergehen, bis auch Galilei und Kepler mithilfe ihrer Fernrohre und Aufzeichnungen zu der damals sehr brisanten Materie forschten.

vor 100 Jahren – Kosmische Strahlung und dunkle Materie

Erst im Laufe des letzten Jahrhunderts lernten Wissenschaftler*innen, nicht nur das sichtbare Licht, sondern auch alle übrigen Wellenlängenbereiche des elektromagnetischen Spektrums zu untersuchen: Zum Beispiel mit Radiowellen, Infrarot-, Röntgen- und Gammastrahlung beobachten sie seither das Universum. „In diesen Wellenlängenbe-

reichen sieht das Universum dramatisch anders aus“, sagt Elsässer. „Es tauchen auf einmal ganz andere Objekte auf und Astroteilchenphysiker*innen versuchen seither herauszufinden, um was es sich dabei genau handelt.“

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts ist zum Beispiel bekannt, dass ein ständiger Regen von energiereichen Teilchen aus dem Universum auf die Erde prasselt – die sogenannte kosmische Strahlung. „Sie beinhaltet Teilchen, die energiereicher sind als alles, was wir mit den weltweit besten Teilchenbeschleunigern erzeugen können“, erklärt Elsässer. Seit knapp 90 Jahren ist außerdem bekannt, dass ein Großteil der Materie im Universum nicht Materie ist, wie wir sie auf der Erde kennen. „Aus Berechnungen leitet sich ab, dass rund 80 Prozent aller Materie des Universums aus etwas ganz Anderem bestehen muss“, sagt Elsässer. Diese unbekannte – auch „dunkle“ – Materie wechselwirkt nicht – oder zumindest fast nicht – mit dem Licht. Sie kann weder durch Abschattung noch durch von ihr abgegebenes Licht direkt gesehen und untersucht werden. Woraus sie besteht, ist eines der größten Rätsel unserer Zeit. Und auch, wo die kosmische Strahlung herkommt und woraus

sie genau besteht, ist bis heute nicht abschließend geklärt. Nach Antworten suchen Physiker*innen mit Hilfe von Experimenten.

vor 20 Jahren – MAGIC-Teleskope

Seit 2003 blickt eine internationale Kollaboration, an der Physiker*innen der TU Dortmund maßgeblich beteiligt sind, mit mittlerweile zwei Teleskopen in den Himmel. Die beiden MAGIC-Teleskope – die Abkürzung steht für „Major Atmospheric Gamma Imaging Cherenkov Telescope“ – stehen auf der Kanareninsel La Palma und zählen bis heute zu den empfindlichsten Tscherenkov-Teleskopen der Welt. Mit ihrer Hilfe sind Astrophysiker*innen aus elf Ländern seit rund 20 Jahren auf der Suche nach Tscherenkov-Lichtblitzen.

Tscherenkov-Licht kennt man zum Beispiel von Bildern aus Abklingbecken von Kernreaktoren als bläuliches Glühen unter Wasser. Aber auch am Himmel taucht Tscherenkov-Licht auf: immer dann, wenn Gammastrahlung, also die energiereichste Strahlung im elektromagnetischen Spektrum, aus

dem Universum auf die Erdatmosphäre trifft. Die Gammastrahlung hinterlässt beim Eintritt in die Erdatmosphäre eine Lawine aus sehr schnellen Teilchen, die wiederum die kurzen bläulichen Lichtblitze verursachen. „Durch diese kurzen Lichtblitze aus der Hochatmosphäre der Erde schließen wir zurück auf die einfallende Gammastrahlung. Und diese gibt uns wiederum Hinweise auf Vorgänge im Universum“, erklärt Elsässer.

2014 – Am Puls der Forschung

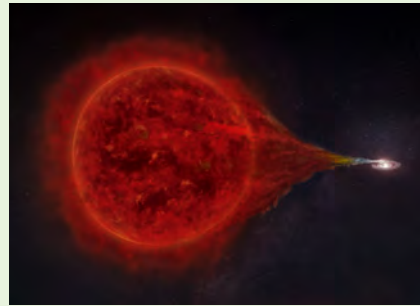
Mit 34 Jahren ist der Physiker Dominik Elsässer zum ersten Mal vor Ort auf La Palma, wo ein meist klarer Himmel und geringe Lichtverschmutzung optimale Beobachtungsbedingungen bieten. Heute ist Elsässer als stellvertretender Sprecher der MAGIC-Kollaboration mitverantwortlich für die beiden Teleskope, die sich auf 2.200 Metern über dem Meeresspiegel befinden. Sie haben eine beeindruckende Gesamtspiegelfläche von je 17 Metern Durchmesser. Der Beobachtungsbetrieb ist dabei eine Teamaufgabe: bis zu vier Wochen lang beobachten junge „Operators“ zusammen mit bereits erfahreneren „Shift Leaders“ jede Nacht den beeindruckenden Sternenhimmel über La Palma. Die Nachwuchswissenschaftler*innen aus

der ganzen Welt überwachen und bedienen die komplexen Systeme, reagieren auf eingehende Alarmer, und arbeiten den Beobachtungsplan ab. „Die Schichtteams kommen bis heute aus ganz unterschiedlichen Ländern. Sie arbeiten und leben zusammen, sind direkt am Puls der Forschung und profitieren in einer oft recht frühen Karrierephase enorm vom unmittelbaren internationalen Austausch“, schwärmt Elsässer. Regelmäßig absolvieren auch Physikstudierende der TU Dortmund hier ihre Einsätze die sprichwörtliche Nadel im Heuhaufen: Denn das Universum produziert völlig unvorhergesehen extreme Ausbrüche von Gammastrahlung. Die wenigen Tscherenkov-Teleskope auf der ganzen Welt sind miteinander vernetzt und melden, sobald ein solcher Ausbruch entdeckt wurde, sodass alle die Chance haben, mitzubeobachten.

2021 – Heftige Explosion

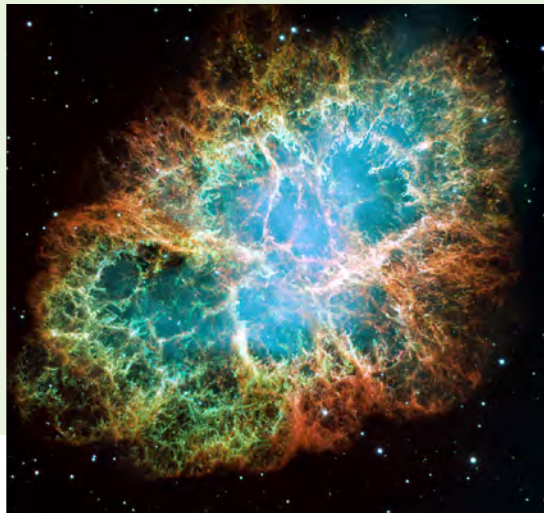
Am 11. August 2021 ist es endlich soweit: Die MAGIC-Kollaboration beobachtet mit ihren Teleskopen sehr energiereiche Gammastrahlen von einer wiederkehrenden Nova in der Milchstraße – ein

seltenes Ereignis, das auf eine Sternleiche zurückgeht: Wenn ein Stern stirbt, dehnt er sich zunächst zu einem Roten Riesenstern aus und kollabiert dann zu einer Sternleiche, einem Weißen Zwerg. Dieser besteht aus einem sehr dichten Material: Ein Teelöffel davon würde etwa eine Tonne wiegen. Diese Sternleichen können dann noch einmal gigantische Explosionen hervorrufen: Wenn der Weiße Zwerg einen Begleiter hat, der seinerseits in die Phase des Roten Riesen übergeht, kann der Wasserstoff aus den ausgedehnten äußeren Schichten des Riesen der enormen Anziehungskraft des dichten Zwergs erliegen und sich auf dessen Oberfläche ansammeln. Der „tote“ Stern entzieht dem aktiven Stern also Gas und wird deshalb auch „Vampirstern“ genannt. Vereinzelt kann es in solchen Systemen sogar zu Kernexplosionen auf der Oberfläche kommen, die einen Großteil des Wasserstoffs und der Fusionsprodukte ins All schleudern. Da die Explosion extrem hell ist, wird der Vorgang auch „stella nova“ (neuer Stern, kurz „Nova“) genannt. In manchen Fällen wiederholt sich der Gastransfer und damit auch der Nova-Ausbruch. Das wird als wiederkehrende Nova bezeichnet und ist genau das, was die Kollaboration im Sommer 2021 am Objekt RS Ophiuchi in unserer Milchstraße beobachtet.



Wenn ein Stern stirbt, dehnt er sich zu einem Roten Riesenstern aus und kollabiert dann zu einem Weißen Zwerg.

Eine Supernova bezeichnet das helle Leuchten eines massereichen Sterns am Ende seines Lebens durch eine Explosion.



Die Kameras der MAGIC-Teleskope schießen eine Milliarde Frames pro Sekunde und produzieren ein Terabyte Daten pro Nacht.

Extreme im Blick

Katastrophale Sternexplosionen, schwarze Löcher und dunkle Materie – das sind die Phänomene, denen Forscher*innen mithilfe der MAGIC-Teleskope auf der Spur sind: Was können diese Extreme im Universum über die Grenzen des physikalischen Verständnisses verraten?

2022 – Datenflut

Am 14. April 2022 veröffentlicht das MAGIC-Konsortium seine Erkenntnisse zur Explosion des Vampirsterns in der Fachzeitschrift *Nature Astronomy*. Zwischen der Aufzeichnung der Explosion durch die Teleskope und der Veröffentlichung des Artikels steht die anspruchsvolle Datenauswertung. Weil die Tscherenkow-Blitze, die die Teleskope aufzeichnen, so kurz sind, müssen die Teleskope sozusagen eine Milliarde Frames pro Sekunde schießen. „Das erklärt auch die hohe Datenrate, die unsere Teleskope produzieren und die wir anschließend auswerten müssen. Wir sprechen hier von einem Terabyte pro Nacht“, erläutert Elsässer. Seit Langem entwickeln die Dortmunder Physiker*innen geeignete Analyseverfahren für diese riesigen Datenmengen, unter anderem von 2011 bis 2022 im Sonderforschungsbereich (SFB) 876 „Verfügbarkeit von Information durch Analyse unter Ressourcenbeschränkung“ in enger Kooperation mit Informatiker*innen. Vermehrt kommen auch Methoden der Künstlichen Intelligenz und des Maschinellen Lernens zum Einsatz.

Doch nicht nur die Datenauswertung, auch der gesamte Messprozess ist enorm komplex: „Wir müssen aus einem ultrakurzen Lichtsignal, das in der Kamera landet, auf die Eigenschaft des

Luftschauers dieser Teilchenlawine schließen. Und die Teilchenlawine soll uns wiederum Aufschluss über die Gammastrahlung geben, deren Ursprung uns interessiert“, sagt Elsässer. Die Daten der Explosion vom 11. August 2021 deuten darauf hin, dass der Großteil der hochenergetischen kosmischen Strahlung, die die Milchstraße durchdringt, zwar wahrscheinlich aus anderen Quellen stammt, dass aber Novae überraschend effizient lokale Regionen mit einer Überdichte an kosmischer Strahlung in ihrer Nachbarschaft erzeugen.

ab 2026 – Plasma Mining

Auch wenn es viele extreme Orte im Universum gibt, findet sich dort auch „normale“ Materie, wie wir sie hier auf der Erde kennen. Diese liegt jedoch sehr oft nicht als Gas oder gar Flüssigkeit vor – sondern als Plasma. „Das bedeutet, dass die Elektronen von den Atomkernen getrennt sind“, so Elsässer. Wie Plasma und energiereiches Teilcheninventar im Universum wechselwirken, ist eine Forschungsfrage, die bislang noch nicht umfassend untersucht wird, von der sich Forschende aber neue Erkenntnisse versprechen: „Das interdisziplinäre Zusammenspiel aus Teil-

chenphysik, Astrophysik, Plasmaphysik und Datenwissenschaften könnte der entscheidende Baustein sein, der uns zum Durchbruch noch fehlt“, meint Elsässer. Genau diese Zusammenarbeit haben sich Forscher*innen aus Dortmund, Bochum und Bonn für die Zukunft vorgenommen. Seit 2022 arbeiten Forschende der TU Dortmund, der Ruhr-Uni Bochum und der Universität Wuppertal bereits im SFB 1491 erfolgreich zum Verständnis der Vorgänge bei der kosmischen Wechselwirkung von verschiedenen Materieformen zusammen. Die TU Dortmund bringt unter anderem aus der jahrelangen Forschung im SFB 876 Expertise zu intelligenter Analysesoftware ein.

„Wir möchten herausfinden, wie genau die kosmischen Objekte Teilchen auf so extreme Energien beschleunigen“, fasst Elsässer zusammen. „Jeder Tag ist spannend, denn jederzeit könnte uns zum Beispiel das Licht einer Supernova, einer Sternexplosion in unserer eigenen Milchstraße, erreichen. Das ist ein Spektakel, das die Menschheit zuletzt vor vier Jahrhunderten beobachten konnte. Durch unsere interdisziplinären und internationalen Kooperationen wären wir heute sehr gut darauf vorbereitet.“

Lena Reil

Schwarzen Löchern nahekommen

„Schwarze Löcher sind Orte, an denen die Schwerkraft so stark ist, dass nicht einmal das Licht entkommt“, erklärt Elsässer. „Wie genau es im schwarzen Loch selbst aussieht, wissen wir nicht.“ Die direkte Umgebung schwarzer Löcher jedoch zeichnet sich durch besonders intensive Gammastrahlenemissionen aus. Hier werden Teilchen zu sehr hohen Energien beschleunigt. Eine der Hauptforschungsfragen Elsässers gilt daher den Prozessen rund um die schwarzen Löcher: „Was genau geschieht da und wie kann man mit Hilfe der Gammastrahlung ganz nah rankommen an dieses schwarze Loch, ihm sozusagen auf die Haut fühlen?“

Endlich die dunkle Materie finden

Zwerggalaxien sind kleine lichtschwache Galaxien, die unsere Milchstraße begleiten. Manche von ihnen enthalten mutmaßlich besonders viel dunkle Materie. Deswegen versprechen sich die Teams von Dr. Dominik Elsässer und auch seinem Kollegen Prof. Hendrik Hildebrandt von der Ruhr-Universität Bochum, dass sie mit ihrer Hilfe mehr über die dunkle Materie erfahren können. Hildebrandts Gruppe ist auf optische Astronomie spezialisiert: Sie sucht und findet Zwerggalaxien, die dann mit Gammastrahlenteleskopen beobachtet werden können. Elsässer: „Bisher haben wir die dunkle Materie nicht gefunden,



Wenn Gammastrahlung aus dem Universum auf die Erdatmosphäre trifft, hinterlässt sie einen extrem schnellen Teilchenschauer. Die schnellen Teilchen wiederum zeigen sich am Himmel als bläuliche Tscherenkow-Lichtblitze. Und genau diese beobachten die MAGIC-Teleskope auf La Palma.

aber wir verschieben die Grenzen der Erkenntnis Stück für Stück nach vorne.“

Kompakte Sternleichen analysieren

Wenn besonders massereiche Sterne explodieren, hinterlassen sie eine extrem kompakte Leiche: etwa eine Kugel so groß wie das Ruhrgebiet aus einem Material, das so dicht ist wie Atomkerne. „Wenn man einen Zuckerwürfel aus Neutronenstern-Material in die Hand nehmen würde, wäre dieser 100 Millio-

nen Tonnen schwer“, sagt Elsässer. Diese Überreste rotieren um sich selbst, und manche von ihnen verraten sich durch regelmäßige Blitze im Gammastrahlenbereich. Das Team um Elsässer entwickelt daher neue Analyseverfahren, um diese rotierenden Neutronensterne, sogenannte Pulsare, auch mit Hilfe von Gammastrahlen-Teleskopen zu beobachten.

Digitale Hilfe bei der Grundstückssuche

Acuire vereinfacht die Grundstücksakquise in der Immobilienentwicklung.



Die Gründer von Acuire: (v.l.) Fabian Göddert, Michael Geigerhilk und Lukas Naumann.

Wohnhäuser, Bürogebäude, Fabrikhallen – jedes Bauprojekt erfordert das passende Grundstück. Doch bei der Grundstückssuche sind neben der Lage und der Größe noch viele weitere Aspekte zu beachten: die Beschaffenheit des Baugrundes, Umweltrisiken, Verkehrsanbindung und nicht zuletzt das spezifische baurechtliche Potenzial. Dies sind nur ein paar der Informationen, die für eine Investitionsentscheidung notwendig sind. Das Start-up Acuire hat es sich zum Ziel gesetzt, die Grundstücksakquise in der Immobilienentwicklung deutlich zu vereinfachen. „Vor meiner Promotion arbeitete ich bei einem Immobilienentwickler in diesem Bereich. Mein Job war es insbesondere, jedes einzelne uns angebotene Grundstück zu prüfen und immer wieder dieselben Daten zu recherchieren“, erinnert sich Fabian Göddert, Mitglied des Grün-

dingsteams. „Das kostet wahnsinnig viel Zeit und man hofft, dass unter den angebotenen Grundstücken auch ein paar passende dabei sind.“

Genau an dieser Problematik setzt die Idee des Start-ups an: Das Team aus Fabian Göddert, Lukas Naumann und Michael Geigerhilk hat eine Web-App entwickelt, mit der die Grundstücksakquise von hinten aufgeklärt werden soll. „Wir helfen Immobilienentwicklern durch unseren Grundstücksfilter und unsere vollautomatisierten Echtzeitanalysen, proaktiv geeignete Grundstücke zu finden, anstatt nur darauf zu warten, dass sie ihnen angeboten werden. Wir wollen und können dabei Immobilienentwickler*innen aber nicht weg-automatisieren. Deren Intuition und Erfahrung sind für die Investitionsentscheidung unersetzlich“, erläutert Lukas

Naumann. „Mit Acuire erhalten sie für ihre Arbeit Zugang zu allen flächendeckend verfügbaren und entscheidungsrelevanten Datenquellen, die für sie bereits ausgewertet und filterbar sind. Wir wollen Teil ihrer alltäglichen Arbeit sein und diese vereinfachen.“

Begeisterung für Gründung und Innovation

Fabian Göddert hat BWL, Architektur und Wirtschaftsingenieurwesen studiert. 2017 begann er seine Promotion am Lehrstuhl für Immobilienentwicklung der TU Dortmund. Dort traf er auf Lukas Naumann, der sich als Raumplaner für seine Promotion mit dem Einsatz von Geodaten in der Immobilienwirtschaft beschäftigt. In gemeinsamen Mittags-

pausen sprachen beide häufig über die Arbeit in der Immobilienentwicklung und stellten fest, dass die zu diesem Zeitpunkt frei verfügbar gemachten öffentlichen Daten wie Kataster- und Gebäudedaten die Möglichkeit bieten, die Grundstücksakquise nachhaltig zu verändern. Fabian Göddert hatte schon während des Studiums an der TU München Interesse an Entrepreneurship entwickelt und steckte Lukas Naumann nach und nach mit seiner Begeisterung für Themen rund um Gründung und Innovation an. Während der Promotion hat Fabian Göddert an Qualifikationsweiterbildungen teilgenommen und war unter anderem Teilnehmer der SummerSchool des Centrum für Entrepreneurship & Transfer (CET).

„Als Lukas und ich dann die Idee hatten, wusste ich, dass man uns am CET mit den Gründungsprogrammen weiterhelfen kann“, sagt Göddert. Die Angebote reichen vom Programm cetup.ID, bei dem Teams ihre erste Idee mit Expert*innen weiterentwickeln, über cetup.PREINC mit der Entwicklung des Geschäftsmodells und des ersten Prototypen bis hin zu cetup.INNOLAB, bei dem die Start-ups ihre erste Finanzierungsrunde vorbereiten und individuelle Coachings erhalten. „Wir waren bei allen Programmen dabei“, sagt Göddert. Als der Prototyp ihrer App weiterentwickelt werden sollte, stieß Michael Geigerhilk zum Gründungsteam. Der Automatisierungstechniker arbeitete viele Jahre in der Softwareentwicklung und bringt daher die technische Perspektive ins Team.

Expertisen, die sich optimal ergänzen

Für die drei ist ein gut funktionierendes Team auch der Schlüssel für eine erfolgreiche Gründung und der Grundstein, um möglichen Hindernissen besser begegnen zu können. „Man hat immer das Team, auf das man sich verlassen kann und das ist sehr viel wert“, betont Lukas Naumann. „Fabian, Micha und ich funktionieren zu dritt einfach sehr gut. Selbst wenn wir diskutieren, weil wir vielleicht nicht einer Meinung sind, können wir

Hier schlägt das Gründerherz

Die TU Dortmund fördert Unternehmensgründungen und den Transfer aus der Wissenschaft. Anfang 2019 wurde sie als „Exzellenz Start-up Center“ ausgezeichnet: Über fünf Jahre erhält die TU Dortmund rund 14 Millionen Euro vom Land NRW, um die Anzahl und Qualität innovativer Ausgründungen weiter zu steigern. Die Gründungs- und Transferaktivitäten der Universität werden im „Centrum für Entrepreneurship & Transfer (CET)“ gebündelt. Das CET unterstützt bei allen Schritten einer Gründung, berät zu Förderprogrammen und Schutzrechten, zeigt Möglichkeiten zum Transfer von Forschungsergebnissen auf und ermöglicht außerdem Kooperationen zwischen etablierten Unternehmen und jungen Start-ups.

www.cet.tu-dortmund.de

immer an der Sache diskutieren. Jeder übernimmt maximale Verantwortung. Dadurch, dass wir drei uns aufgrund unserer verschiedenen Expertisen sehr gut ergänzen, gibt es auch nie Reibereien, wer welchen Verantwortungsbereich übernimmt.“

Verantwortung zeigt Acuire auch bei der Datengrundlage, denn Daten sind das Fundament der Gründung. „Für unsere Kunden ist immer zu 100 Prozent nachvollziehbar, woher die Daten kommen und was damit passiert“, sagt Michael Geigerhilk. „Wir haben dabei sehr stark von der Open Data Initiative NRW profitiert. Dadurch lassen sich viele Geodaten aus dem Bestand der Verwaltung komplett abrufen. NRW war hier Vorreiter und Vorbild für andere Bundesländer, was uns den Start sehr erleichtert hat.“ Jetzt gehe es an die weiteren Regionen. Bis zum Ende des Jahres will Acuire mindestens die Hälfte der Bundesrepublik abdecken.

Das Förderprogramm EXIST

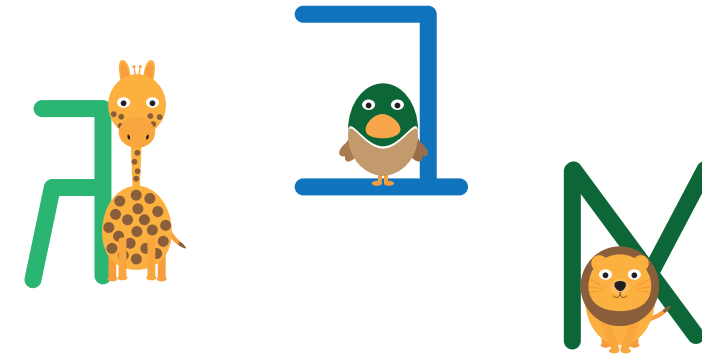
Um Gründungsvorhaben aus Hochschulen optimal zu unterstützen, haben der Bund und das Land NRW diverse Förderprogramme aufgelegt. Mit dem EXIST-Gründerstipendium unterstützt der Bund Gründungsinteressierte mit einem monatlichen Zuschuss von bis zu 3.000 Euro plus Sachausgaben über ein Jahr. Der Transfer von entwicklungsintensiven Forschungsergebnissen in eine Gründung wird z. B. über EXIST-Forschungstransfer mit bis zu vier Personalstellen und in der Regel bis zu 250.000 Euro über 18 Monate gefördert. Ergänzt werden die Programme durch Coaching und ein wertvolles Netzwerk. Bei der Auswahl des passenden Förderprogramms, der Antragstellung sowie weiteren Fragen steht das CET Gründungsinteressierten zur Seite.

Die gute Teamstruktur und das verantwortungsbewusste Handeln zahlen sich aus: Seit Herbst 2022 wird Acuire mit einem EXIST-Gründerstipendium gefördert. Mithilfe dieser Förderung wollen die drei Gründer in den nächsten Monaten weitere Analyse- und Filtermodule entwickeln, um spezielle Probleme in der Immobilienentwicklung zu lösen. „Immer mehr Regularien wie Förderrichtlinien und Einzelhandelskonzepte stellen sicher, dass Stadtentwicklung nachhaltiger wird, machen die Arbeit der Immobilienentwickler*innen jedoch auch komplexer und schwieriger“, erklärt Fabian Göddert. Deshalb setzt das Start-up auf starke Kooperationspartner mit Expertise in diesen Bereichen, um die App immer weiter zu verbessern und Immobilienentwickler*innen durch diese Komplexität zu navigieren.

<https://acui.re>

Angelina Römer

mini mundo



nach rechts. In Europa schreiben fast alle Kinder so wie du, in anderen Ländern schreiben sie aber auch andersherum. Aber warum ist das so?

Das hier sind die ersten drei Buchstaben des hebräischen Alphabets. Auf der Tafel, die der kleine Löwe links hält, steht sein Name: „Leon Löwe“.

Beim Schreiben geht es darum, Buchstaben in eine Reihe zu bringen. Doch wer sagt uns, in welche Richtung wir das tun? Dass wir in der deutschen Schrift von links anfangen, haben wir uns als Kultur so angewöhnt. Das ist übrigens auch sehr praktisch, besonders, wenn man mit dem Füller schreibt. So verwischt man nichts – zumindest, wenn man mit rechts schreibt. Kinder, die linkshändig sind, haben diesen Vorteil hingegen nicht.

Beispiel im Hebräischen oder im Arabischen, das damit verwandt ist. Andere Sprachen schreibt man sogar von oben nach unten, wie Chinesisch oder Japanisch. Warum manche Kulturen von rechts nach links schreiben, weiß man nicht ganz genau. Es kann aber daran liegen, dass früher Inschriften mit Hammer und Meißel in Stein geschlagen wurden. Die meisten Menschen sind Rechtshänder und nehmen beim Meißeln den Hammer in die rechte Hand – damit meißelten die Menschen in der Vergangenheit automatisch von rechts nach links. Weil man sich das damals so angewöhnt hat, hat man das mit Buchstaben später auch so gemacht.

In einigen anderen Sprachen schreibt man aber von rechts nach links, zum

Das Geheimnis des hebräischen Alphabets

Weißt du, in welcher Sprache das Alte Testament, also die eine Hälfte der Bibel, vor rund 2500 Jahren ursprünglich geschrieben wurde? Das war nicht etwa Deutsch oder Englisch, sondern Hebräisch.

Hebräisch ist eine der ältesten Sprachen der Welt. Heute sprechen etwa 9 Millionen Menschen weltweit He-

bräisch. 6,1 Millionen davon sind Muttersprachler*innen, die größtenteils in Israel leben. Im Rest der Welt wird Hebräisch hauptsächlich in den jüdischen Gemeinden im Gottesdienst gesprochen, also in den Synagogen. Fast jedes jüdische Kind, egal wo auf der Welt es lebt und was seine Muttersprache ist, lernt Hebräisch lesen und schreiben, um für den Gottesdienst fit zu sein.

Das moderne Hebräisch, das im Staat Israel gesprochen wird, ist eine Weiterentwicklung des biblischen Hebräisch. Man kann sich das ungefähr so vorstellen wie den Unterschied zwischen Lateinisch (Alte Sprache!) und heutigem Italienisch.

Von links nach rechts – oder doch andersherum?

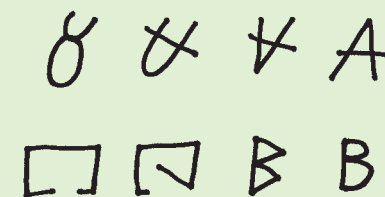


Auf dem Bild links schreibt ein Kind etwas in Hebräischer Schrift an die Tafel. Das erste Wort rechts lautet Schalom. Das heißt Frieden. Irgendetwas daran sieht ungewohnt aus, oder? Denn im Hebräischen schreibt man von rechts nach links.

Schreib doch mal deinen Namen mit dem Finger in die Luft oder mit dem Stift auf ein Stück Papier – fällt dir etwas auf? Genau, du schreibst von links

Woher kommt der Name „Alphabet“?

Wusstest du, dass der Name für unser Alphabet seinen Ursprung auch im Hebräischen hat? Das Wort setzt sich zusammen aus „Alpha“ und „Bet“ und das sind zwei hebräische Worte, die über 3000 Jahre alt sind. „Alef“ heißt Stier und „Bet“ heißt Haus, daraus wurde Alpha-Bet. Die bildlichen Symbole wurden nach und nach vereinfacht, bis die Buchstaben übrigblieben, wie wir sie heute kennen: A und B, die ersten Buchstaben unseres Alphabets.



Vom Bild zum Buchstaben

Erinnerst du dich noch, wie du die Buchstaben des deutschen Alphabets gelernt hast? Wahrscheinlich gab es bei dir in der Schule ein großes Plakat, auf dem verschiedene Symbole jeweils mit einem Buchstaben verknüpft wurden. Also zum Beispiel das Abbild einer Ampel und daneben der Buchstabe „A“. Durch diese Verknüpfung lernen Kinder das Alphabet besonders gut, weil sie etwas, was sie kennen (das gesprochene Wort „Ampel“), mit etwas Neuem verbinden können, also dem Laut und dem Buchstaben „A“.

Auf diese Weise kam auch unser Alphabet ursprünglich zustande. Bevor es eine richtige Schrift gab, haben die Menschen früher Bilder gemalt, um einen bestimmten Laut zu repräsentieren. Viele Bilder nebeneinander in einer Reihe bildeten dann so etwas wie

Die KinderUni der TU Dortmund

Übrigens: Wer in Dortmund Theologie studiert, um später einmal Religionslehrer*in zu werden, der lernt bei Prof. Egbert Ballhorn und seinen Kolleg*innen, selber Hebräisch zu lesen und zu schreiben! Außerdem hat Herr Ballhorn im Rahmen der KinderUni der TU Dortmund ein Video zum Thema „das Hebräische Alphabet“ gedreht. Auch einige seiner Kolleg*innen aus ganz unterschiedlichen Fächern gehen gemeinsam mit Kindern zwischen acht und zwölf Jahren spannenden Fragen auf den Grund: Bei der KinderUni gibt es Vorträge in den Reihen „Wissen macht Spaß“, „Nachhaltiges Wirtschaften“, „Dortmund entdecken“ und „Technik macht Spaß“. Die Vorlesungen finden auf dem Campus der TU Dortmund oder auf der Hochschuletage im Dortmunder U statt. Viele weitere Infos sind auf der KinderUni-Website zu finden: www.tu-dortmund.de/kinderuni

einen Satz, indem die Leser*innen nur den Anfangsbuchstaben von jedem Bild gelesen haben. Weil das Malen von Bildern sehr viel Zeit und Platz braucht, wurden die Zeichnungen immer stärker vereinfacht. Und irgendwann war vom ursprünglichen Symbol gar nichts mehr zu sehen und nur der Buchstabe blieb übrig.

Die deutsche Sprache (und die meisten europäischen Sprachen) nutzen übrigens das lateinische Alphabet. Das sind die Buchstaben, die du hier gerade liest. Das lateinische Alphabet lehnt sich an das griechische Alphabet an, was wiederum auf dem hebräischen Alphabet beruht. Auch wenn das deutsche und das hebräische Alphabet ganz anders aussehen und in verschiedene Richtungen geschrieben werden, sind sie miteinander verwandt. Die althebräische Schrift ist also quasi so etwas wie die Ururururoma der deutschen Schrift.

Nele Nafé

Ausgezeichnet



Prof. Michael ten Hompel

Der Bundespräsident hat Prof. Michael ten Hompel (r.) mit dem Bundesverdienstkreuz am Bande der Bundesrepublik ausgezeichnet. Dortmunds Oberbürgermeister Thomas Westphal (l.) händigte es im März dem Professor für Förder- und Lagerwesen an der Fakultät Maschinenbau aus. Die Auszeichnung erhält er aufgrund seines herausragenden Engagements in der Wissenschaft. Schwerpunkte seiner Arbeit liegen etwa in den Bereichen Industrie 4.0, Internet der Dinge und Künstliche Intelligenz in der Logistik. Zahlreiche Innovationen in der Logistik gehen direkt auf ten Hompels Forschung zurück. Er gilt als einer der Erfinder der Shuttle-Technologie in der Intralogistik und als einer der Väter des Internets der Dinge.



Prof. Heike Hanada

Die Architektin und Künstlerin Prof. Dipl.-Ing. Heike Hanada, (l.) Professorin für Gebäudetypologien an der Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen, wurde im Mai zusammen mit weiteren Wissenschaftler*innen und Künstler*innen in die Nordrhein-Westfälische Akademie der Wissenschaften und der Künste aufgenommen. Akademiepräsidentin Prof. Julia Bolles-Wilson (2.v.r.) überreichte die Aufnahmeurkunde in die Klasse der Künste. Die Mitglieder der Akademie zeichnen sich durch „herausragende Forschungsarbeit und künstlerische Exzellenz“ aus. Die Arbeiten von Prof. Hanada wurden mehrfach ausgezeichnet: unter anderem erhielt sie den Thüringischen Architekturpreis für das Bauhaus-Museum in Weimar.



Prof. Christian Rehtanz

Die Mitgliederversammlung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) hat Prof. Christian Rehtanz von der Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik im Juni in den Senat gewählt. Als Senatsmitglied wird der Professor für Energiesysteme und Energiewirtschaft die deutsche Forschungs- und Förderlandschaft mitgestalten. Seit Januar zählt Rehtanz außerdem zum Kreis der Fellows beim Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Er erhielt diese Auszeichnung für seine Forschung zu Weitbereichs-Monitoring sowie Schutz- und Regelungssystemen für elektrische Energienetze.



Prof. Jakob Rehof

Die International Conference on Computer-Aided Verification (CAV) hat Prof. Jakob Rehof von der Fakultät für Informatik im Juli in Paris mit dem CAV Award ausgezeichnet. Der internationale Award wird jährlich für grundlegende Beiträge im Bereich der computergestützten Verifikation verliehen. Der Professor für Software Engineering wurde für die Einführung der kontextbegrenzten Analyse und ihre Anwendung auf das systematische Testen von nebenläufigen Programmen geehrt. Den diesjährigen Award teilt er sich mit Kolleg*innen von Microsoft und Meta sowie von der University of Wisconsin.



Bildnachweise:

Titel: motortion/stock.adobe.com; S. 4 mykolastock/stock.adobe.com; S. 6 u. l. Yvonne Kasper; S. 6 o. l. Yuya Makino/IceCube, NSF; S. 6 o. r. Thomas Hartmann; S. 6 u. r. sereznij/Shotshop.com; S. 7 u. l. Gudellaphoto/stock.adobe.com; S. 7 o. l. Martina Hengesbach; S. 7 u. r. Oliver Schaper; S. 7 o. r. Martina Hengesbach; S. 8–9 Robert Przybys/stock.adobe.com; S. 10 l. BCI/TU Dortmund; S. 10 m. BCI/TU Dortmund; S. 10 r. Hesham Elsherif; S. 11 o. l. Sergiy Serdyuk/stock.adobe.com; S. 11 u. l. Robert Kneschke/stock.adobe.com; S. 11 r. Nicolás Gajardo-Parra; S. 12 o. Nicolás Gajardo-Parra; S. 12 u. Hesham Elsherif; S. 13 Hesham Elsherif; S. 14–15 molekool.be/stock.adobe.com; S. 16 Martina Hengesbach; S. 17 l. Rasmus Linser; S. 17 r. Felix Schmale; S. 18 l. Rasmus Linser; S. 18 r. Rasmus Linser; S. 19 Aliona Kardash; S. 20–21 picture alliance/dpa/Thomas Frey; S. 22 justfotography/sfs; S. 23 ESIA consortium; S. 24 <https://www.socialinnovationatlas.net/map/>; S. 25 ESIA consortium; S. 26–27 Maximilien Brice/CERN; S. 28 l. Felix Schmale; S. 29 r. Hesham Elsherif; S. 29 o. Janina Nicolini/TU Dortmund; S. 29 u. Daniel Dominguez/CERN; S. 30 o. Maximilien Brice/CERN; S. 30 u. weyo/stock.adobe.com; S. 31 Prof. Caterina Doglioni; S. 32 Maximilien Brice/CERN; S. 33 Felix Schmale; S. 34 l. picture alliance/dpa/dpa-infografik GmbH; S. 34 r. Maximilien Brice/CERN; S. 35 Maximilien Brice/CERN; S. 36–37 luchschenF/stock.adobe.com; S. 38 o. Friis, Lakes & Park, Journal of Materials Science 23/1988; S. 38 m. Coulais, Teomy, de Reus, Shokey & van Hecke, Nature 535/2016; S. 38 u. Kadic, Bückmann, Schittny, Gumbusch & Wegener, Physical Review Applied 2/2014; S. 38 r. Martina Hengesbach; S. 39 l. Angela Madeo; S. 39 r. Zlatko Guzmic/stock.adobe.com; S. 40 Angela Madeo; S. 41 o. elxeneize/stock.adobe.com; S. 41 u. jlfsousa/stock.adobe.com; S. 42–43 AlinStock/stock.adobe.com; S. 56 l. Privat; S. 56 r. Felix Schmale; S. 57 <https://archive.ph/Inqxy>; S. 58 <https://gadmo.eu/kriminelle-corona-ukraine-was-unsere-faktenchecker-bewegt/>; S. 59 <https://this-person-does-not-exist.com/en> (l.) und AIT (r.); S. 60 Carolin Liefke; S. 61 l. Hesham Elsherif; S. 61 r. LDA Sachsen-Anhalt, Juraj Lipták; S. 62–63 v. l. n. r. Erica Guilane Nachez/stock.adobe.com, Dominik Elsässer, CC/Argonne National Laboratory, Alicia Lopez-Oramas, Jorge Otero-Santos, Alicia Lopez-Oramas, IceCube/NASA; S. 64 v. l. n. r. <https://superbossa.com/> / MPP, NASA, ESA, J. Hester and A. Loll (Arizona State University), Derek Strom, Giovanni Ceribella and the MAGIC Collaboration; S. 65 o. M. Gendron-Marsolais et al.; S. Dagnello, NRAO/AUI/NSF, SDSS; S. 65 u. MAGIC Collaboration; S. 66 CET/TU Dortmund; S. 68 o. ShU studio/stock.adobe.com; S. 68 u. Rafael Ben-Ari/stock.adobe.com; S. 68 m. Dmytro/stock.adobe.com; S. 68 o. r. Nicole Jetzlaff; S. 69 l. Sigdesign/stock.adobe.com; S. 69 r. Flaticon.com; S. 70 o. l. Stadt Dortmund; S. 70 u. l. Roland Baege; S. 70 o. r. NRW-Akademie der Wissenschaften und der Künste/Engel-Albustin; S. 70 u. r. Sascha Kreklau; S. 71 fuchs mit foto/stock.adobe.com; Rückseite: Maksim Kostenko/stock.adobe.com

Roland Baege, Hesham Elsherif, Martina Hengesbach, Aliona Kardash, Oliver Schaper und Felix Schmale fotografierten im Auftrag der TU Dortmund.

