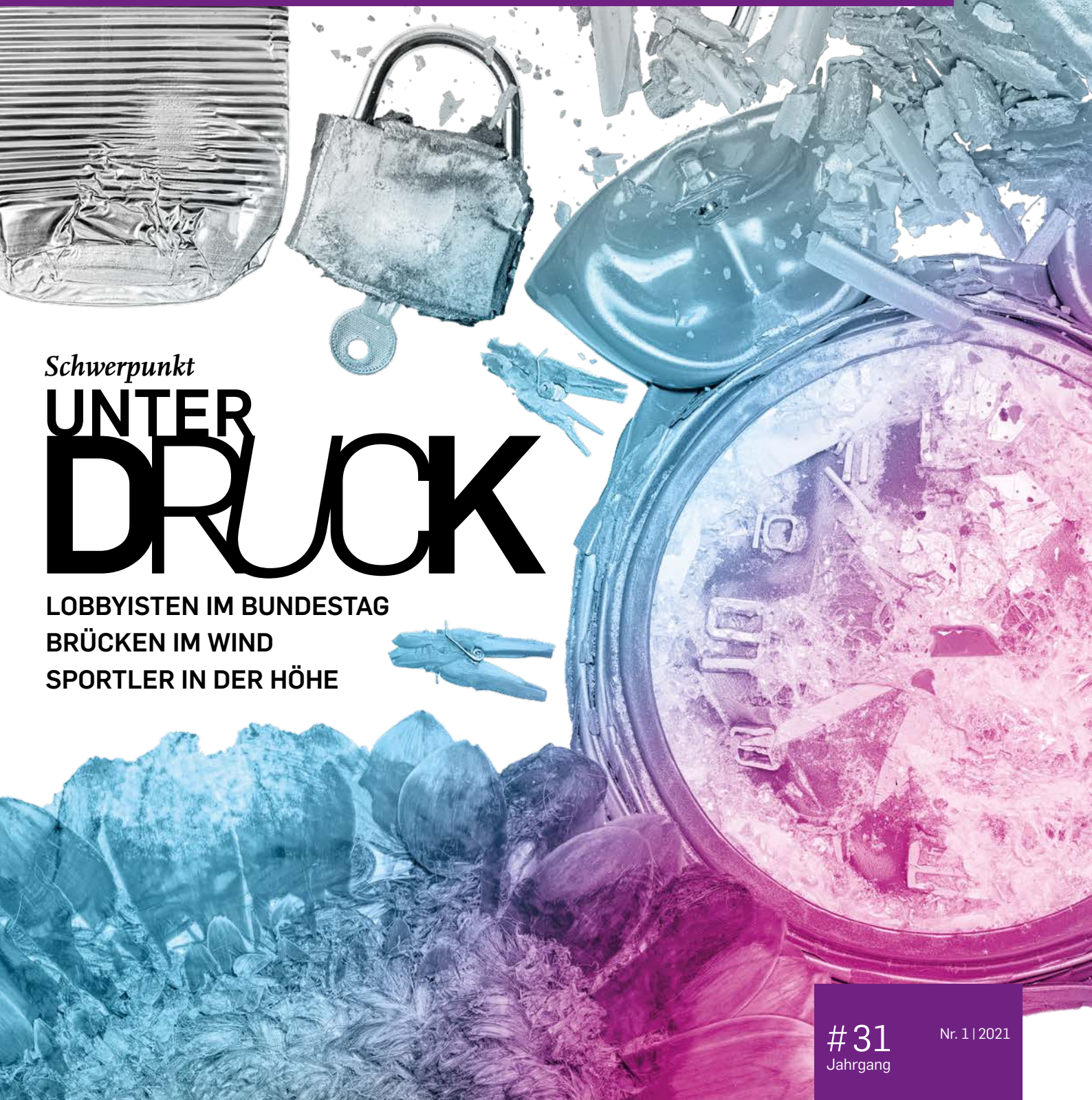
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN



Schwerpunkt

UNTER DRUCK

LOBBYISTEN IM BUNDESTAG
BRÜCKEN IM WIND
SPORTLER IN DER HÖHE

#31 Jahrgang
Nr. 1 | 2021



Foto: (c) Regionalverband Ruhr

RUB

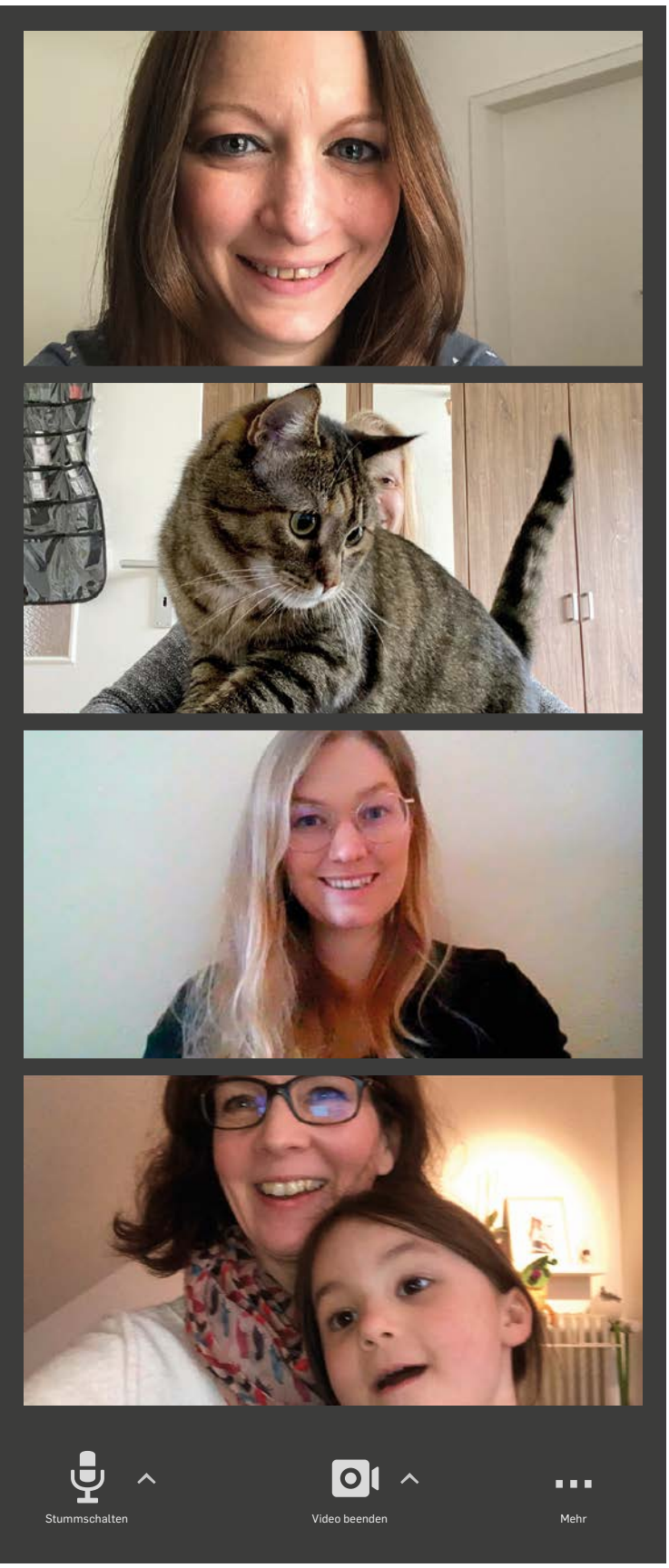
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

GRÜNDEN IN BOCHUM: WORLDFACTORY START-UP CENTER (WSC)

Wer in Bochum gründen möchte, ist an der Ruhr-Universität Bochum (RUB) genau richtig: Das **Worldfactory Start-up Center (WSC)** begleitet Wissenschaftler*innen und Studierende von der Idee bis zur Gründung. Ein ganzheitliches Start-up-Ökosystem ermöglicht es, Innovationen der Spitzenforschung in marktfähige Produkte zu überführen. Internationale Partnerschaften und der internationale Austausch sind dabei wichtige Impulsgeber.

WORLD FACTORY

WERDE JETZT TEIL VON WORLDFACTORY*international* → https://www.worldfactory.de/worldfactory-international



AUS DER REDAKTION

Unter Druck – als wir in der Redaktion das erste Mal über diesen Schwerpunkt nachgedacht haben, grassierte das Coronavirus noch nicht unter uns. Erst kamen uns vornehmlich Beiträge aus den Natur- und Ingenieurwissenschaften in den Sinn, weil wir das Thema zunächst physikalisch interpretierten. Auch über eine assoziative Ebene dachten wir nach, etwa über Stress und Leistungsdruck. Unser Fotograf nahm den Schwerpunkttitel sofort wörtlich, legte diverse Gegenstände wie Dosen, Blumen oder einen Wecker unter eine hydrauliche Presse, um mit viel Druck die Formen zu erzeugen, die nun auf dem Cover zu sehen sind.

Als wir uns schließlich während des Corona-Lockdowns für die konkrete Planung virtuell mit unserem wissenschaftlichen Beirat trafen, bekam das Thema „Unter Druck“ schnell eine weitere Interpretation. Immer wieder schwang in den Diskussionen mit, wie sehr Corona den Wissenschaftsbetrieb unter Druck setzt: zusätzliche Anforderungen an Prüfungen und Lehre, Kinderbetreuung und Homeschooling, geplante Experimente, die durch die notwendigen Abstandsregeln unmöglich geworden sind. Viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sehen sich schwierigen Zeiten gegenüber. Hin und wieder gibt es aber Lichtblicke: So durften wir erfahren, dass sich die Coronasituation in einzelnen Fällen auch positiv auswirkt. Manche Forschungsprojekte, wie das in diesem Heft beschriebene von Nazha Hamdani zum Eindringen von Coronaviren ins Herz, haben so sehr an Bedeutung gewonnen, dass sie sich plötzlich in Rekordzeit umsetzen lassen.

Auch in unserem Redaktionsteam versuchen wir, uns über die gelegentlichen positiven Begleiterscheinungen der Krise zu freuen. Zum Beispiel darüber, dass wir mittlerweile die vielen Haustiere und Kinder der Kolleginnen und Kollegen kennenlernen durften, die Abwechslung in manchmal eintönige Videokonferenzen bringen. Kleine Teilnehmer in Karnevalskostümen, stolz präsentierte Hausaufgaben oder Kunstwerke, Katzen, die lässig vor der Webcam platznehmen – all das hätte es in einem Besprechungsraum wohl nie gegeben.

Julia Weiler für das Redaktionsteam

RUBIN IM NETZ
Alle Rubin-Artikel im Newsportal der RUB:
→ **news.rub.de/rubin**

INHALT



03 **Aus der Redaktion**

06 **Forschung in Bildern**

10 **Wissenshäppchen**

12 *Sozialwissenschaft*
Vorbereitet auf den Zusammenbruch der Gesellschaft

16 *Sozialwissenschaft · Im Gespräch*
Wo Prepper, Querdenker und Rechte sich begegnen

18 *Medizin*
Wie das Coronavirus das Herz angreift

22 *Schwerpunkt*
UNTER DRUCK

24 *Betriebswirtschaft*
Variable Vergütungssysteme können krank machen

27 *Mechanik*
Bauwerke und Bauteile wie natürlich gewachsen

30 *Standpunkte*
Druck im Forschungsalltag

32 *Physik*
Winzige Teilchen mit enormem Druck

36 *Politikwissenschaft*
Auf offener Bühne und hinter verschlossenen Türen









40 *Bauingenieurwesen*
Brückenbau mit Spoiler

44 *Standpunkte*
Druck im Forschungsalltag

46 *Geowissenschaft*
Warum Fracking Erdbeben in Westkanada auslöst

50 *Standpunkte*
Druck im Forschungsalltag

52 *Sportmedizin*
Wenn die Luft dünn wird

56 *Geowissenschaft · Im Gespräch*
Das Wasser die Arbeit machen lassen

58 *Bauforschung*
Bis die Verbundstütze bricht



62 *Biodiversitätsforschung*
Treffpunkt der Buckelwale

65 *Biodiversitätsforschung · Im Gespräch*
„Eine der tollsten Sachen, die man erleben kann“

66 **Redaktionsschluss**

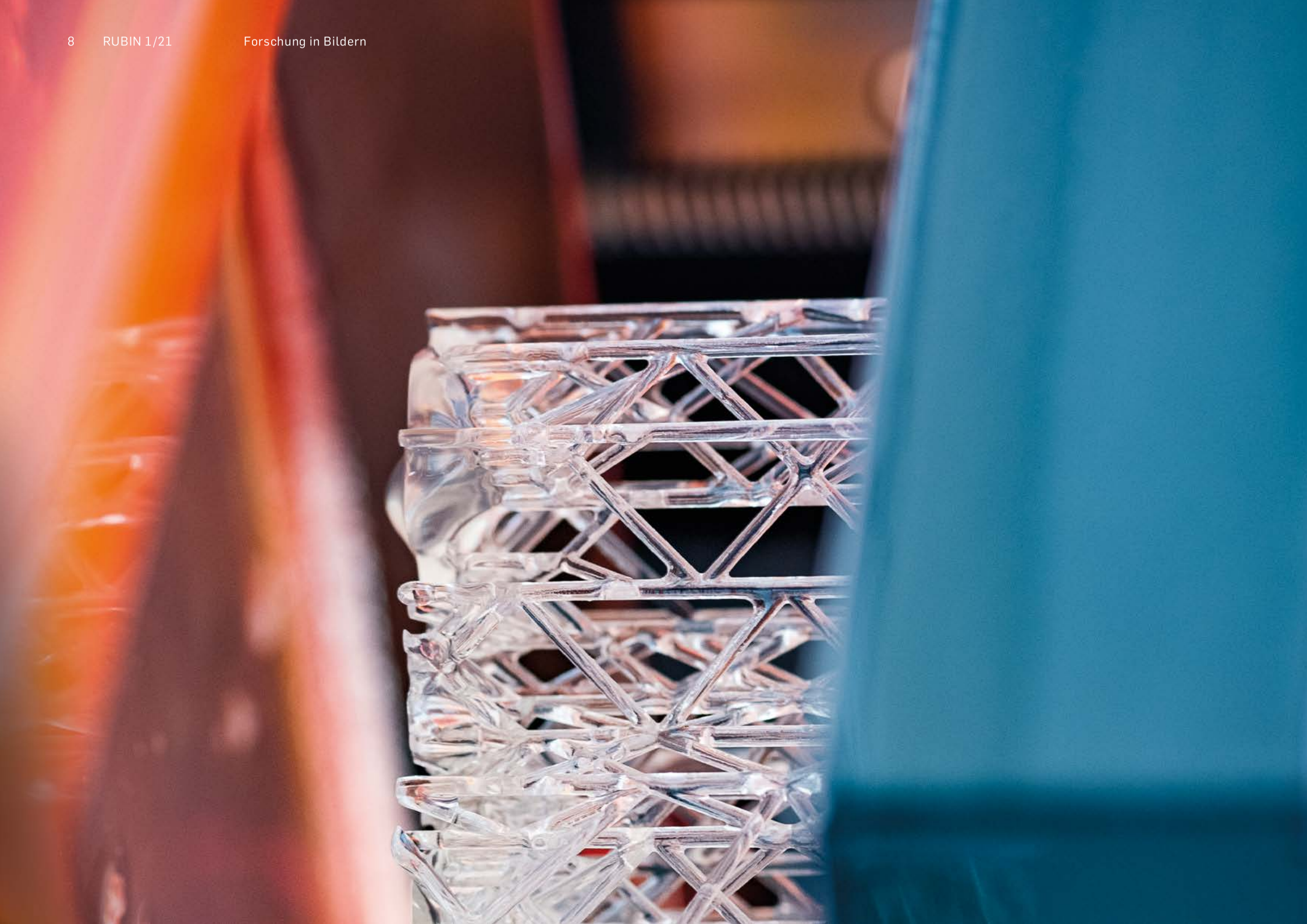


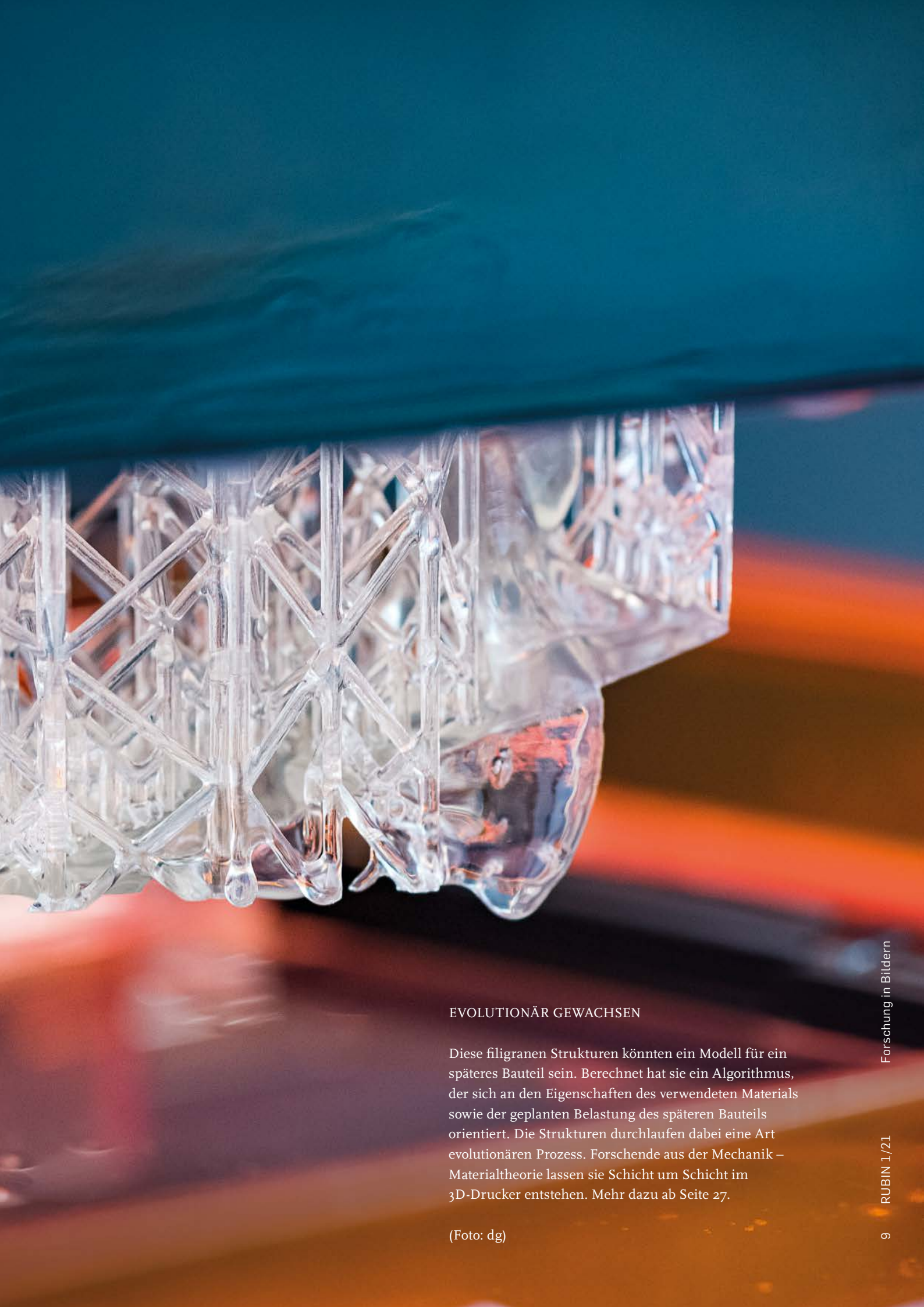
BUCKELWALE

Buckelwale sind durchschnittlich etwa 13 Meter groß und wiegen zwischen 25 und 30 Tonnen. Im Verlauf des Jahres können sie Tausende Kilometer weite Strecken zurücklegen. Vieles über diese Wanderungen ist noch unbekannt. Ein Bochumer Team will mit genetischen Analysen neue Erkenntnisse über die Routen der Tiere gewinnen. Mehr dazu ab Seite 62.

(Foto: Mathias König)







EVOLUTIONÄR GEWACHSEN

Diese filigranen Strukturen könnten ein Modell für ein späteres Bauteil sein. Berechnet hat sie ein Algorithmus, der sich an den Eigenschaften des verwendeten Materials sowie der geplanten Belastung des späteren Bauteils orientiert. Die Strukturen durchlaufen dabei eine Art evolutionären Prozess. Forschende aus der Mechanik – Materialtheorie lassen sie Schicht um Schicht im 3D-Drucker entstehen. Mehr dazu ab Seite 27.

(Foto: dg)



Jedes Jahr werden weltweit rund 36 Millionen Tonnen Paprika geerntet – Chilischoten rechnet die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation FAO dabei mit. Etwa 19 Millionen Tonnen kommen aus China.

WAS LÄSST PAPRIKA BEI DER REIFUNG ERRÖTEN?

Grüne Paprika sind unreif und reifen – anders als Tomaten – auch nicht nach. Bochumer Biologen wollen wissen warum.



Menschen kultivieren die Paprikapflanzen schon seit Tausenden von Jahren: Ein US-Forschungsteam konnte nachweisen, dass Menschen in Ecuador schon 4.100 vor Christus Paprikapflanzen gezüchtet haben. Dennoch bergen die Früchte noch Geheimnisse, die Forschende zu ergründen versuchen.

Ein Team um Prof. Dr. Sacha Baginsky vom Lehrstuhl Biochemie der Pflanzen der RUB hat erstmals auf Proteinebene im Detail entschlüsselt, was Paprika bei der Reifung rot werden lässt. „Grüne Paprika, die man im Supermarkt kaufen kann, sind nämlich keine eigene Sorte, wie viele glauben, sondern unreif“, erklärt er. Die Fruchtreifung in Paprika verläuft von fotosynthetisch aktiven Früchten mit hohem Chlorophyll- und Stärkegehalt zu nicht-fotosynthetischen, Carotinoid-reichen Früchten. Essenzielle Schritte dieser Umwandlung finden in typischen pflanzlichen Zellorganellen, den sogenannten Plastiden, statt.

Am Anfang stehen Vorläuferorganellen, die sogenannten Proplastiden. Sie sind noch undifferenziert und entwickeln sich je nach Gewebetyp und Umweltsignalen zu verschiedenen Plastiden. Bei vielen Frucht- und Gemüsesorten entwickeln sich daraus die Chromoplasten. „Sie tragen ihren Namen wegen ihrer oft leuchtenden Farben“, erklärt Sacha Baginsky. In Paprikafrüchten entwickeln sich aus Proplastiden zuerst fotosynthetisch aktive Chloroplasten, aus denen sich bei der Reifung durch den Abbau von Chlorophyll und der Fotosynthese-Maschinerie die Carotinoid-reichen Chromoplasten entwickeln.

Ähnlich ist es in der Tomate, wobei allerdings ein entscheidender Unterschied zur Paprika besteht: Tomaten gehören zu den klimakterischen Früchten, die nach der Ernte nachreifen. Biochemisch ist dieser durch das Pflanzenhormon Ethylen induzierte Prozess durch einen enormen Anstieg respiratorischer Aktivität mit großem Sauerstoffverbrauch gekennzeichnet, das sogenannte Klimakterium. „Bei Paprika ist dies nicht der Fall. Wenn man sie grün erntet, bleiben sie auch grün“, so der Biologe.

md





Sozialwissenschaft

VORBEREITET AUF DEN **ZUSAMMENBRUCH DER GESELLSCHAFT**

Ein vollgetanktes Fluchtauto, eine prall gefüllte Vorratskammer oder regelmäßige Schießübungen – Preppen kann viele Formen annehmen. Genauso vielfältig können auch die Ursachen für ein solches Verhalten sein.



Mehl, Nudeln, Seife, Toilettenpapier – nach diesen und einigen anderen Artikeln konnte man im ersten Corona-Lockdown in vielen Supermärkten oft vergeblich suchen. Leergekauft waren die Regale, weil die Bürgerinnen und Bürger auf eventuelle Engpässe vorbereitet sein wollten. Bei den meisten Menschen ist dieses Verhalten mittlerweile wieder verflogen. Doch für einen kurzen Moment waren sogenannte Preppertaktiken in den Mainstream eingesickert. Als Prepper bezeichnet man Menschen, die stets auf das Eintreten einer Katastrophe und den darauf folgenden eventuellen Kollaps der gesellschaftlichen Infrastruktur vorbereitet sind. „Diese Vorbereitungen zielen auf das eigene Überleben ohne fremde institutionelle Unterstützung“, sagt Mischa Luy, der an der Ruhr-Universität Bochum in der Fakultät für Sozialwissenschaft seine Doktorarbeit zu dem Thema schreibt. „Die Vorbereitungen können Wissensbestände umfassen, Praktiken, Techniken, Geisteshaltungen und Objekte. Wenn man sich mit den Menschen unterhält, sieht man, dass das Preppen ein sehr komplexes Phänomen ist.“

Während in den USA viel zum Preppen geforscht wurde, gibt es in Deutschland bislang kaum eine wissenschaftliche Auseinandersetzung damit. Schätzungen zufolge leben in der Bundesrepublik zwischen 10.000 und 200.000 Prepperinnen und Prepper, wobei die Mehrheit männlich ist. Die große Spannweite der Zahlen ist ein Indiz dafür, wie wenig über das Phänomen bekannt ist. Warum werden Menschen zu Preppern und wie begründen sie ihr Verhalten? Mit diesen Fragen befasste Mischa Luy sich schon 2017 in seiner Masterarbeit, nun setzt er das Projekt in seiner Promotion fort.

Er führte seither Gespräche mit 13 Männern und einer Frau, die er in Internetforen und Facebook-Gruppen für seine Forschungsarbeit gewinnen konnte. „Es hat etwas gedauert, bis ich Freiwillige in der Prepperszene für meine Arbeit gefunden habe, weil dort ein großes Misstrauen gegenüber der Forschung herrscht“, erzählt Mischa Luy. „Aber in den Gesprächen waren die Menschen dann sehr offen, teilweise haben sie mich auch durch ihre Häuser geführt und ihre Vorbereitungen gezeigt. Ein Prepper nahm mich sogar mit auf seinen Schießstand, das zeugt von Vertrauen, denke ich.“

In den biografisch narrativen Interviews ließ Mischa Luy die Menschen erzählen, wie sie zum Preppen gekommen sind, wie sie ihr Verhalten plausibilisieren, wie sie die Gesellschaft wahrnehmen und welche Vorstellungen von der Zukunft sie haben. Nun ist er dabei, die 30 Minuten bis zwei Stunden langen Gespräche mit der Grounded Theory Methodology auszuwerten. Dabei bildet er Kategorien, ordnet die Aussagen diesen Kategorien zu und leitet Hypothesen ab.

„Es ist ein exploratives Angehen, da es bislang kaum Forschung in diesem Bereich gibt“, beschreibt Luy. „Ich werde keine statistisch repräsentativen Daten erhalten. Mein Ziel ist es, Idealtypen und Begründungsmuster herauszuarbeiten.“ Zwei Typen haben sich bereits herauskristallisiert: Mischa

> „ES IST FAST EINE ZIVILISATIONS-KRITIK. PREPPER SAGEN, DIE MENSCHEN FÜHLTEN SICH HEUTE ZU SICHER.“
>
> Mischa Luy



Viele Bürgerinnen und Bürger haben während des ersten Corona-Lockdowns mehr Vorräte angelegt als üblicherweise – eine Preppertaktik. (Foto: rs)



Wie viele Vorräte sind normal? Manche Prepperinnen und Prepper haben die Schränke bis zum Anschlag gefüllt, um auf alle Eventualitäten vorbereitet zu sein. (Foto: rs)

Luy bezeichnet sie als „Bug In“ und „Bug Out“. Beim Bug In bunkern sich die Leute zu Hause ein, legen viele Vorräte an und nutzen häufig ihr technisch stark ausgeprägtes Wissen, um beispielsweise Stromgeneratoren oder Wasserfilteranlagen einzurichten. Die Strategie zielt darauf ab, zu Hause ohne Hilfe von außen überleben zu können. Beim Bug Out bereiten sich die Prepper stattdessen auf eine Flucht vor. Sie haben vollgepackte Koffer und ein getanktes Fluchtfahrzeug parat stehen, um im Wald oder an einem sicheren Zufluchtsort ausharren zu können, bis die Lage besser wird.

Klar ist: Den einen Prepper gibt es nicht. „Es gibt Leute, die das Preppen nicht ihr Leben beherrschen lassen wollen und die nur für zwei Wochen vorsorgen. Für andere wird es eine Art Lebensführung“, so der Sozialwissenschaftler. „Das Preppen bestimmt ihre Entscheidungen: Sie machen zum Beispiel regelmäßige Notfallübungen, gehen nicht mehr auf einen Weihnachtsmarkt, weil sie Angst vor Terroranschlägen haben, oder verlassen das Haus nur mit einem Everyday Carry – einem Rucksack, in dem die wichtigsten Gegenstände immer bereit sind.“

Oft ergibt sich ein Teufelskreis: Menschen beginnen mit dem Preppen, um Sicherheit zu schaffen. Aber je mehr sie sich mit den Vorbereitungen beschäftigen, desto mehr fallen ihnen auch potenzielle Gefahren ein, die wieder neue Unsicherheit schaffen. Luy bezeichnet das als expansive Dynamik.

Die Gründe, warum Menschen mit dem Preppen anfangen, können genauso vielfältig sein wie die Vorbereitungen. Die eigene Biografie spielt dabei immer eine Rolle. „Manche Menschen nennen einschneidende Erlebnisse, etwa eingeschneit sein auf der Autobahn, einen Stromausfall oder das Miterleben von Terroranschlägen während eines militärischen Auslandseinsatzes“, erklärt Luy. Manche Prepper beziehen sich auf Erfahrungen der Großeltern oder Eltern, also der Kriegs- oder Nachkriegsgeneration, die Erfahrungen von Mangel gemacht haben. Viele geben zudem an, dass prepperaffine Tätigkeiten zunächst ein Hobby waren, etwa die Vorbereitung von Outdoor-Touren. Und manche nennen auch Situationen wie den Ukrainekonflikt oder die Wirtschaftskrise als Gründe, die offenbart haben, wie fragil eine Gesellschaft sein kann. Generell scheinen viele Prepper einen naturwissenschaftlich-technischen Hintergrund zu haben oder aus dem Militär- oder Sicherheitsbereich zu kommen.

Für viele, so eines von Mischa Luys Ergebnissen, gehe es aber nicht nur um die eigene Sicherheit, sondern auch um die Fürsorge für die Familie oder um ein Gefühl der Freiheit und Autarkie. „Es ist fast eine Zivilisationskritik“, beschreibt der Forscher. „Prepper sagen, die Menschen fühlten sich heute zu sicher, seien zu sehr abhängig von der Technik und könnten nicht mal mehr selbst ein Feuer machen oder ein Rad wechseln.“ Sie wollen selbst wieder zu Experten werden und nicht von der arbeitsteiligen Gesellschaft abhängig sein. „Bei manchen treten aber auch Züge von Misstrauen gegenüber dem Staat zutage“, ergänzt Luy. Er selbst preppt übrigens nicht. „Beim ersten Lockdown habe ich etwas mehr eingekauft, darüber hinaus aber nicht“, sagt er. „Dazu bin ich zu fatalistisch und habe zu großes Vertrauen in die Infrastruktur und Kapazitäten unseres Staates.“

jwe

WO **PREPPER, QUERDENKER** UND **RECHTE** SICH BEGEGNEN

Verschwörungstheorien haben gerade Hochkonjunktur – und fungieren als Bindeglied zwischen Gruppen, die man sonst nicht gemeinsam auf Demonstrationen erwarten würde.

Prepper bereiten sich auf Natur- oder menschgemachte Katastrophen vor und auf einen potenziellen Zusammenbruch der Gesellschaft. Ihre Strategien und Begründungen sind vielfältig. Sozialwissenschaftler Mischa Luy erforscht sie in seiner Promotion an der RUB. Im Interview erzählt er, wo die Ursprünge des Preppens liegen und welche Gemeinsamkeiten es zwischen den verschiedenen Gruppierungen gibt, die sich auf Corona-Demonstrationen treffen.

Herr Luy, Sie erforschen seit mehreren Jahren die Prepperszene. Wo hat diese ihren Ursprung?

Der Begriff kommt aus dem englischsprachigen Raum und ist eng verwandt mit dem Survivalism, den man bis in die Kolonialzeit zurückverfolgen kann. Als Menschen aus Europa in die neue Welt zogen und dort mit anderen Kulturen, einer anderen Flora und Fauna konfrontiert wurden, entstand im 19. Jahrhundert eine neue literarische Gattung der Reisemanuale. Darin wurde festgehalten, wie man in unwirtlichen Gegenden überleben kann. Die Strategien wurden zurück mit in die alte Welt genommen und dort im Zweiten Weltkrieg Teil der militärischen Ausbildung. Auch im zivilen Bereich fanden diese Überlebensstrategien Anwendung, so zum Beispiel bei den Pfadfindern. Es kam zu einer Professionalisierung dieses Wissens, das bei manchen auch zu einer Art Hobby wurde, beispielsweise beim Abenteurer und Aktivisten Rüdiger Nehberg. Natürlich blieb aber ein ernster Kern.

Ist der Begriff Preppen denn eine relativ neue Bezeichnung?

Die Ursprünge des Begriffs werden im Jahr 2000 vermutet, als der befürchtete Year-2K-Millennium-Bug eine großflächige Panik ausgelöst hat. Menschen hatten Angst, dass es mit dem Jahreswechsel einen Stromausfall geben könnte, die Bankautomaten nicht mehr funktionieren oder Atomsilos in die Luft fliegen würden. Damals haben sich viele Leute mit einer Vorbereitungspraktik beschäftigt. Bei Wikipedia ist der Begriff Preppen erst 2012 aufgetaucht, als auch die ersten Facebook-Gruppen dazu entstanden. Ganz genau kann man die Ursprünge nicht rekonstruieren. Vermutlich ging es der Szene aber darum, eine Selbstbezeichnung zu finden, die weniger vorbelastet als der Survivalism war. Survivalism hatte eine zum Teil negative Konnotation, unter anderem durch Rechtsterroristen wie Timothy McVeigh, der in Oklahoma das Murrah Building in die Luft gesprengt hat – er war ein Survivalist.

Hat die Coronakrise der Prepperszene einen Schub verliehen, sind also mehr Menschen dadurch zu Preppern geworden?

Das würde ich schon sagen. Ich bin in ein paar Facebook-Gruppen der Prepperszene angemeldet, um dort mitzulesen. Dort sind die Zahlen der Neuanmeldungen in der Coronakrise nach oben gegangen. Auch insgesamt hat sich das Bewusstsein geschärft, wie fragil die Gesellschaft ist. Das Klopapier-Hamstern ist das beste Beispiel: Da sind Preppertaktiken in den Mainstream gekommen.

Steckt vielleicht in jedem von uns ein Stück weit ein Prepper?

Die Gedankengänge, die Prepper haben, sind bis zu einem bestimmten Punkt nachvollziehbar, nur die Bewertung fällt bei ihnen anders aus als bei anderen. Ich kann bestimmte Szenarien durchspielen und überlegen, was bei einer Verkettung unglücklicher Umstände schlimmstenfalls passieren könnte – und so denken Prepper oft. Das Ergebnis empfinden sie dann als so beunruhigend, dass sie die Situation bearbeiten müssen, um ein Gefühl von Sicherheit für sich zu schaffen.

Gibt es Überschneidungen von der Prepperszene und der Querdenken-Bewegung?

Es gibt schon Überschneidungen, zum Beispiel bei Verschwörungserzählungen. Dabei geht es oft darum, dass man sich ohnmächtig fühlt und durch Verschwörungstheorien Handlungsmacht zurückerlangen will. Eine häufige Gemeinsamkeit ist auch ein Misstrauen gegenüber Expertinnen und Experten und Politik. Bei manchen Preppern findet man auch narzisstische Eigenschaften: Das Verhalten befriedigt eine Sehnsucht nach Einzigartigkeit, man fühlt sich der Mehrheitsgesellschaft überlegen, weil die anderen keine Ahnung haben, wie schnell alles zu Bruch gehen kann. Man empfindet sich als eine Art Avantgarde. Das ist teilweise auch bei den



Mischa Luy interessiert sich nicht nur für das Preppen, sondern auch für Überschneidungen von Prepperszene, Querdenken-Bewegung und rechten Gruppierungen.

Querdenkern so: Die anderen sind alle Schlafschafe und man selbst weiß Bescheid.

Prepper und Querdenker treffen sich auf Corona-Demonstrationen, auf denen häufig ein Einhalten der demokratischen Freiheitsrechte gefordert wird. Gleichzeitig mischen sie sich dabei mit rechten Gruppen. Viele fragen sich, wie das zusammengehen kann.

Die Gruppierungen treffen sich in ihrem Verschwörungsdenken und Antisemitismus. Rechte Weltanschauungen operieren seit jeher mit verschwörungstheoretischen Argumentationsmustern – vom Nationalsozialismus bis heute. Es geht immer darum, dass hinter der Fassade mächtige Gruppen das Schicksal der Welt oder von Nationen lenken. In diesem Denken gibt es keine Zufälle, sondern Geschichte und Gesellschaft sind das Ergebnis einer bewussten Planung von bestimmten Personen. Es wird dabei nicht in Prozessen gedacht; gesellschaftliche Verhältnisse werden personalisiert.

Rechte, manche Prepper und Verschwörungsgläubige treffen sich außerdem bei einem Hang zu apokalyptischen Deutungsmustern. Viele erwarten, dass es einen Tag X, eine letzte Schlacht um das Überleben geben wird: Gut gegen Böse, sei es der Bürgerkrieg oder der sogenannte Rassenkrieg, dass man die Regierung stürzt oder gewisse Gruppen enttarnt und dann bekämpft. Wenn das vermeintlich Böse erst beseitigt ist, beginnt der Himmel auf Erden. Rechtsterroristen zum Beispiel denken auch, dass die letzte Schlacht künstlich herbeigeführt werden muss. Sie glauben, von ihnen wahrgenommene Verfallserscheinungen in der Gesellschaft beschleunigen zu müssen, etwa durch Anschläge. So war es zum Beispiel beim NSU oder der Gruppe Nordkreuz.

Wie kann man Verschwörungstheorien entgegenwirken?

Es ist wichtig, im Kindes- und Jugendalter mit politischer Bildung anzusetzen. Wenn sich erst mal ein geschlossenes Weltbild verfestigt hat, ist es schwer, dagegen anzukommen. Man muss früh ein Verständnis von politischen, ökonomischen und sozialen Prozessen fördern. Auch gilt es, die Medienkompetenz und Ambiguitätstoleranz zu fördern, also dass man lernt, Widersprüche auszuhalten. Außerdem sollte man über die Funktionsweisen und Strategien von Verschwörungserzählungen aufklären, damit man sie eher durchschauen kann. Gerade bei Kindern und Jugendlichen sollte man sehr empathisch vorgehen, wenn Verschwörungen neben der Sinnstiftungsfunktion auch Identitätsfunktion erfüllen. Bei Erwachsenen ist aber eine klare Gegenrede notwendig.

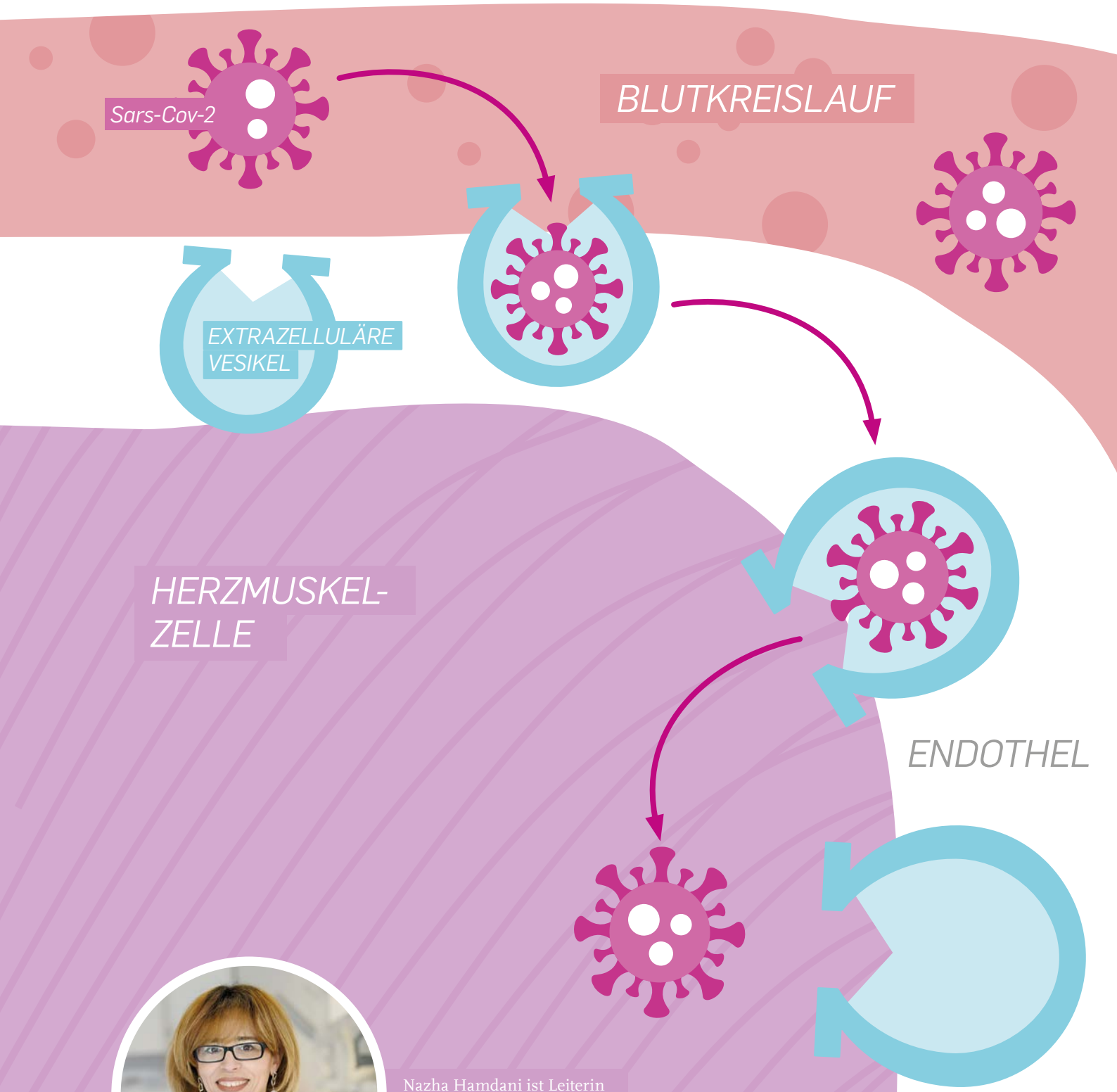
Häufig wird auch den Sozialen Medien eine Rolle bei der Ausbreitung von Verschwörungstheorien zugeschrieben.

Mir wäre es lieber, bei den einzelnen Personen anzusetzen als bei den Medien. Natürlich haben die Sozialen Medien das Potenzial, Verschwörungstheorien zu befördern, weil sie die Verbreitung erleichtern, aber da werden Wirkung und Ursache vertauscht. Die Ursache für das Verschwörungsdenken sind oft psychische, soziale und historische Momente wie Krisen, die entscheidender sind als die Medien. Daher muss man bei den Personen ansetzen und einen mündigen Umgang mit den Medien fördern.

Text: jwe, Foto: Sebastian Sellhorst

> „MAN EMPFINDET SICH ALS EINE ART AVANTGARDE.“
>
> Mischa Luy

WIE DAS **CORONAVIRUS** DAS





Nazha Hamdani ist Leiterin des Forschungsbereiches für molekulare und experimentelle Kardiologie am Universitätsklinikum Bochum.

HERZ ANGREIFT

Ein Forschungsteam der RUB hat herausgefunden, über welche Mechanismen das Coronavirus das Herz befällt – und wie es aufgehalten werden könnte.

Das Coronavirus Sars-Cov-2 kann schwere Organschäden beim Menschen verursachen. Auch Herzkomplikationen gehören zu den Folgen einer Covid-19-Infektion. So geht das durch Corona ausgelöste, schwere akute Atemwegssyndrom meist mit einer zusätzlichen Belastung für das Herz einher, insbesondere bei Personen mit Herzschwäche oder einer anderen kardialen Vorerkrankung. Darüber hinaus greift das Virus auch direkt das Herz an, kann eine Herzmuskelentzündung verursachen und zu Herzversagen führen. Doch wie gelangt das Virus in das Herz? Und wie lässt es sich aufhalten?

Antworten darauf hält nun Medizinerin Dr. Nazha Hamdani parat, die den Forschungsbereich für molekulare und experimentelle Kardiologie am Universitätsklinikum Bochum leitet. Die Forscherin hat die Reise des Virus in das Herz genau verfolgt und dabei einen neuen Eintritts- und Schädigungsmechanismus entdeckt: Das Virus dockt mithilfe sogenannter extrazellulärer Vesikel und Exosomen, also außerhalb der Zelle liegender Partikel, an die Herzzellen an und infiziert sie. „Unsere Studie zeigt erstmals, dass es einen weiteren Mechanismus gibt, den sich das Virus zunutze macht, um durch die Blutbahnen in das menschliche Herz zu gelangen“, erklärt Nazha Hamdani.

Um dem neuen Eintrittsmechanismus auf die Spur zu kommen, hat das Forschungsteam des Universitätsklinikums Blutsera und Herzgewebestrukturen von an Covid-19 erkrankten und an oder mit der Erkrankung verstorbenen Patientinnen und Patienten mittels histochemischer Methoden sowie Mikroskopie analysiert. In einem ersten Schritt lieferten die Forscherinnen und Forscher um Hamdani den Beweis, dass sich das Virus tatsächlich und direkt in den Zellen des Herzmuskels nachweisen lässt. „Unsere Beobachtungen zeigen, dass das Virus Druck auf den Herzmuskel ausübt, die Kontraktionskraft, also die Pumpfunktion des Herzens angreift und schwächt“, so Hamdani.

Doch wie dringt das Virus überhaupt in das Herz ein? In Vorgängerstudien zu Sars-Cov-2 konnte bereits nachgewiesen werden, dass sich das neuartige Virus über ein Enzym, das sogenannte Spike-Protein, das außen auf der Virushülle ▸

So gelangt das Virus in das Herz: Sars-Cov-2 dockt sowohl via ACE-2-Rezeptor als auch über extrazelluläre Vesikel an das Endothel an und infiziert die dortigen extrazellulären Partikel, bevor sie in die Blutbahnen geschickt werden und schließlich, geladen mit dem schädlichen Virus, in die Herzzellen eindringen und diese weiter infizieren.

sitzt, an ein bestimmtes Oberflächenmolekül der menschlichen Zelle, das Angiotensin-konvertierende-Enzym 2 (ACE-2), bindet. „Über den ACE-2-Rezeptor dringt das Virus in das Zellinnere vor und vermehrt sich dann. Dieser Vorgang konnte bereits in Lunge, Darm, Niere und Leber beobachtet werden“, fasst Nazha Hamdani die bisherigen Ergebnisse internationaler Forschungsgruppen zusammen. Da ACE-2 auch auf der Zelloberfläche des Herzens zu finden ist, nahm die Bochumer Medizinerin an, dass das Virus auf diese Weise auch das Herz befallen würde.

Zu ihrem Erstaunen fanden Hamdani und ihr Team den infizierten ACE-2-Rezeptor jedoch ausschließlich im Endothel, der Zellschicht an der Innenfläche der Blutzellen, und in extrazellulären Partikeln, aber nicht in den Herzmuskelzellen. Damit stand für die Medizinerin fest: „Die Virusinfektion der menschlichen Zellen gelingt via ACE-2, aber den Weg in das Herz sucht sich das Virus unabhängig davon“. Es musste also weitere Faktoren geben, die den Eintritt des Virus in die Gefäßzellen des Herzens ermöglichen. Hamdani und ihr Team wurden innerhalb von nur vier Monaten fündig.

> „WIR HABEN ERSTMALS EINEN NEUEN EINTRITTSMECHANISMUS DES VIRUS ENTDECKT.“
>
> Nazha Hamdani

Der Schlüssel sind die sogenannten extrazellulären Vesikel. Diese liegen außerhalb der Zellen und sind für die Kommunikation von Zelle zu Zelle verantwortlich. Sie sind in der Lage, Moleküle, und damit auch die Boten-RNA des Virus, von infizierten Zellen zu gesunden Zellen zu transportieren. „Wie ein Taxi, das durch den Blutkreislauf fährt und die genetischen Informationen des Virus verteilt“, erklärt Hamdani.

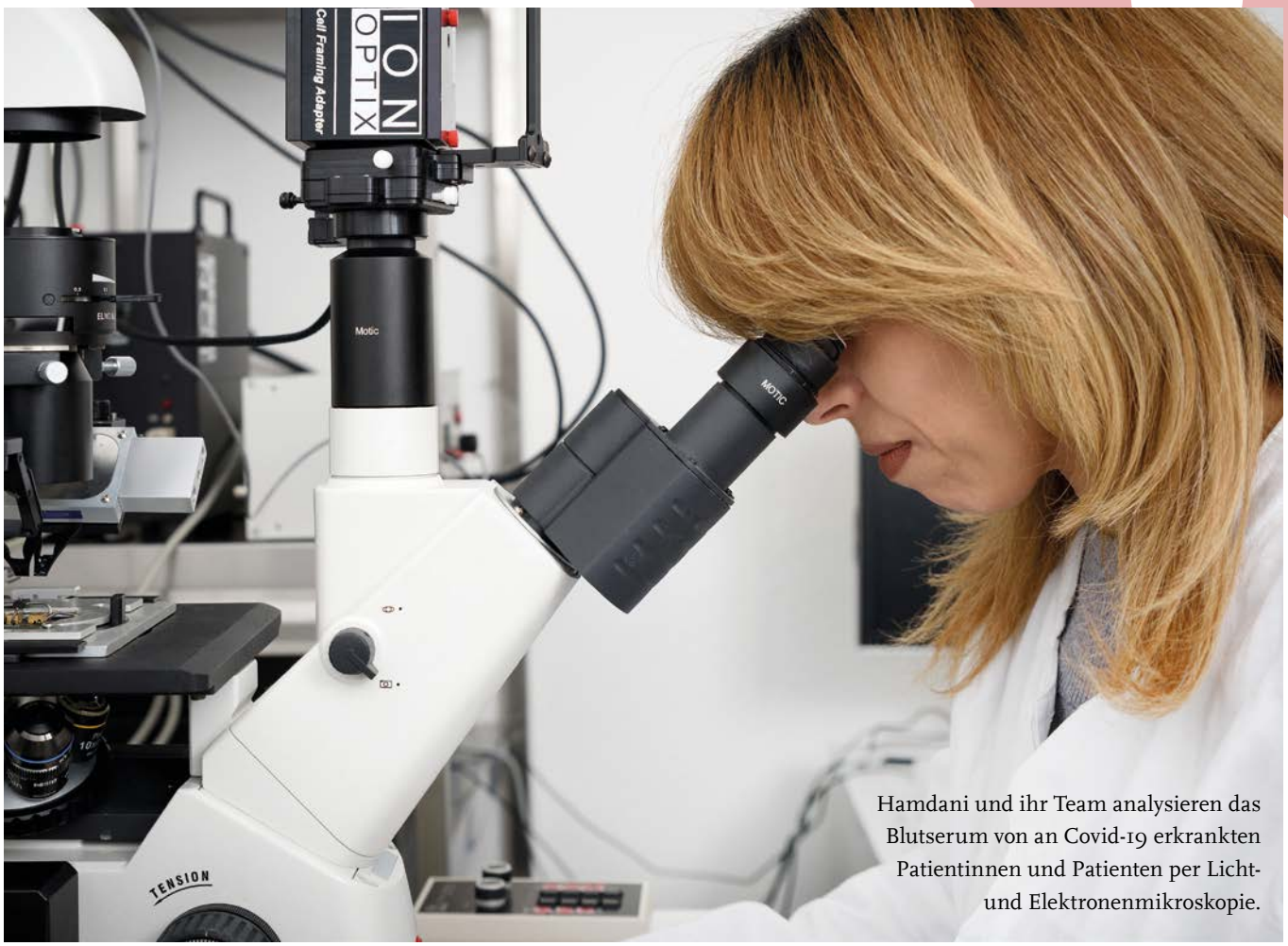
Die Vesikel hat das Forschungsteam durch fluoreszierenden Farbstoff, sogenannte doppelte Goldmarkierung, sichtbar gemacht und sie anschließend durch ein spezielles Lichtmikroskop, ein Konfokalmikroskop, sowie ein Elektronenmikroskop beobachtet. Im Blut und in den Herzzellen von stark infizierten Patientinnen und Patienten konnten sie die Vesikel inklusive Virus und Komponenten, wie doppelsträngiger RNA und Spike-Protein, deutlich identifizieren. Folgeexperimente sollen zeigen, ob auch andere Organzellen über diesen zusätzlichen Mechanismus angegriffen werden.

Zudem konnten die Bochumer Forscherinnen und Forscher die bereits bestehenden Erkenntnisse stützen, dass das Virus zusätzlich das Protein Neuropilin-1 (NRP-1) als Eintrittspforte in die Zellen nutzt. „Neuropilin liegt an der Außenwand des Epithels, der obersten Zellschicht der menschlichen Haut, und erleichtert so das Eindringen des Virus. Wir haben in den Herzzellen eine gesteigerte NPR-1-Aktivität gemessen. Dies deutet darauf hin, dass Neuropilin-1 neben dem ACE-2-Rezeptor ein alternativer Rezeptor für den Sars-Cov-2-Eintritt ist“, erläutert Nazha Hamdani den wichtigen Fund. Neuropilin produziert den Botenstoff Interleukin-6, der wiederum die Entzündungsreaktion des Organismus reguliert und für Immunabwehrprozesse essenziell ist. Steigt die Produktion von Interleukin-6, kann dies zu Zellschäden und Zelltod führen.

Damit stehen dem Coronavirus, so zeigt Hamdanis Forschung, gleich mehrere Mechanismen zur Verfügung, um sich in den menschlichen Organen zu verbreiten. „Dass das neuartige Virus in der Lage ist, sich Rezeptor-unabhängig über infizierte endothele Vesikel zu verteilen, unterscheidet es vom Vorgänger Sars-Cov-1 und macht es um einiges virulenter“, erklärt Hamdani. „Die Infektionsanfälligkeit wird zusätzlich durch eine entzündete und oxidierte Zellumgebung begünstigt, wie sie häufig bei älteren Menschen, Menschen mit Bluthochdruck, Diabetikern oder Adipositas-Betroffenen vorkommt“, so die Medizinerin weiter. Seit Jahren untersucht Hamdani die pathophysiologischen Ursachen von Herzerkrankungen. Was allen gemein sei: entzündete und oxidierte Gefäßzellen. Auch bei Covid-19-Patientinnen und -Patienten erhöhe solch eine Zellumgebung das Risiko, an Corona und einer anschließenden Herzerkrankung zu sterben.

Seit Beginn der Coronapandemie wird nach Therapien gesucht, die die Virusinfektion eindämmen und schwere Verläufe verhindern können. Der neue Mechanismus, den das Bochumer Forschungsteam aufgedeckt hat, hält einen vielversprechenden Therapieansatz bereit. So könnte es gelingen, die extrazellulären Vesikel mit einem Medizin-Cocktail aus Antikörpern, Anti-Oxidantien und Entzündungshemmern zu beladen, die die Verbreitung des Virus stoppen, die Entzündungswerte reduzieren und das Immunsystem ankurbeln. „Unser zukünftiges Cocktail-Medikament würde Menschen helfen, die noch nicht geimpft, aber bereits infiziert sind“, erklärt Hamdani das therapeutische Potenzial. Außerdem würde es gegen alle Virusvarianten wirken. „Das Medikament soll den Eintritt in das Herz und andere Organe verhindern, unabhängig von der Art der Mutante“, so die Forscherin. Aktuell arbeiten Hamdani und ihr Team auf Hochtouren an einem Wirkstoff.

Text: lb, Fotos: rs



Hamdani und ihr Team analysieren das Blutserum von an Covid-19 erkrankten Patientinnen und Patienten per Licht- und Elektronenmikroskopie.



Durch den Einsatz von fluoreszierenden Farbstoffen lassen sich die Partikel in den Zellen sichtbar machen und die Wege des Virus genau verfolgen.

Schwerpunkt

UNTER DRUCK





Wie groß ist der **Druck** im Inneren von Atomkernen? Was passiert, wenn man Beton unter **Druck** setzt oder Gestein mit Fracking aufbricht? Wie üben Lobbyisten **Druck** auf die Politik aus? Und was macht **Leistungsdruck** mit Vertriebspersonal?

VARIABLE VERGÜTUNGS-SYSTEME KÖNNEN KRANK MACHEN

Lohnanreizsysteme steigern die Produktivität von Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern. Ab wann sich variable Vergütung negativ auf die Gesundheit auswirkt, zeigen neue Forschungsergebnisse.



Erschöpfung, Depression, Schlafstörung, Burnout: Die Fälle von Arbeitsunfähigkeit aus psychischen Gründen haben in den vergangenen Jahren dramatisch zugenommen. Im Jahr 2019 meldete die Betriebskrankenkasse, dass sich die Fehltage aufgrund psychischer Erkrankungen in den vergangenen zehn Jahren mehr als verdoppelt hätten.

Prof. Dr. Sascha Alavi, Lehrstuhlinhaber am Sales Management Department (SMD), beobachtet diese Entwicklung in der Gesellschaft, insbesondere in der Unternehmenswelt, schon lange kritisch. „Unser Wirtschaftssystem begünstigt, dass der Druck auf Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in Unternehmen wächst. Das ist besonders in den Bereichen der Fall, in denen Leistung messbar und Anreizsysteme vorhanden sind. Kundenakquise oder Umsätze – jeder Schritt wird überwacht. Das erzeugt Leistungsdruck“, sagt er. Gemeinsam mit seiner ehemaligen Doktorandin Dr. Kim Linsenmayer und Prof. Dr. Johannes Habel von der University of Houston hat Alavi nun im renommierten Journal of Marketing nachweisen können, welche negativen Auswirkungen der Druck in Form von leistungsabhängigen Vergütungsmodellen auf die Gesundheit haben kann.

In einem Feldexperiment untersuchte das Forschungsteam ein mittelständisches Unternehmen in Deutschland, das Konsumgüter, Werkzeuge und Dienstleistungen an Kunden aus der Bau- und Automobilbranche verkauft. Über einen Zeitraum von zwölf Monaten begleiteten sie die Umstellung des dortigen Vergütungsmodells von 80 Prozent variabler hin zu 80 Prozent fester Vergütung und werteten dazu die Daten von mehr als 800 Beschäftigten aus. Das Ergebnis ihrer Zeitreihenanalyse zeigte: Stärkere Leistungsanreize gehen mit mehr Krankheitstagen einher.

Der J-Effekt

„Steigt der Anteil der variablen Vergütung am Gesamtgehalt, so wirkt sich das zunächst positiv auf die Leistung der Beschäftigten aus“, erklärt Alavi. Der Anreiz durch Umsatzprovisionen und Bonuszahlungen motiviere. Die empirischen Daten zeigen jedoch auch, dass mit steigender variabler Vergütung auch das Stresslevel zunehme. „Das wiederum resultiert in vermehrten Krankmeldungen und verminderter Leistungsfähigkeit“, erläutert Alavi den J-förmigen Verlauf der Kurve. „Wir nennen das den J-Effekt“, so der Wirtschaftswissenschaftler weiter. Ab einem Anteil der variablen Vergütung von circa 30 Prozent an der Gesamtvergütung steigt der Leistungsdruck rapide an, und die Leistung nimmt ab. „Unsere Daten spiegeln also wider, dass Anreizsysteme in Form von variabler Vergütung gesundheitsschädliche Folgen haben können. Sie können für Stress und Unsicherheit sorgen und so Druck erzeugen“, fasst der Forscher zusammen.

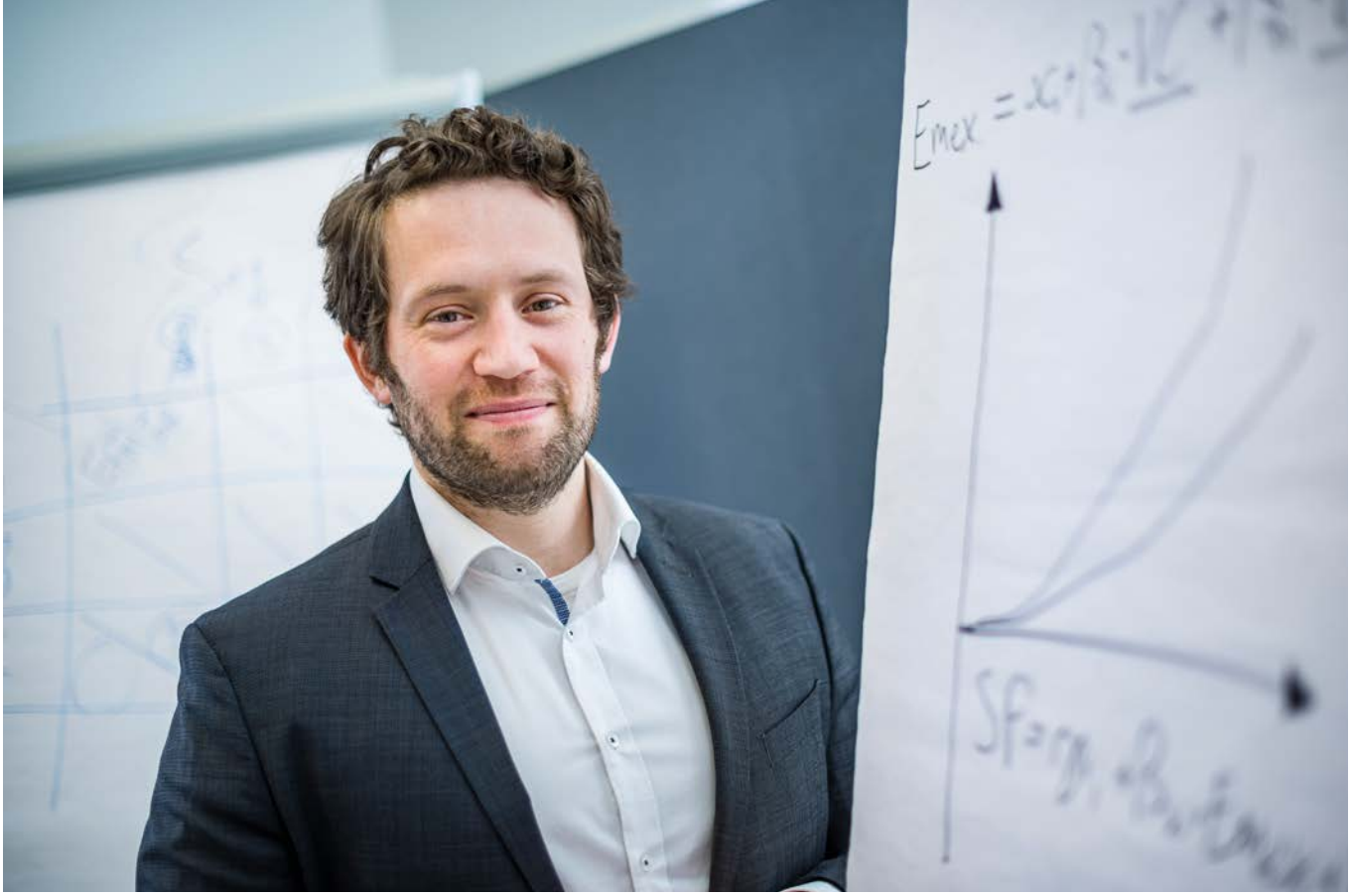
In weiteren Studien konnte das Forschungsteam den beobachteten J-Effekt bestätigen und bestehende Stresstheorien ausbauen. So ergab eine Umfrage unter 400 Vertriebsmitarbeiterinnen und Vertriebsmitarbeitern unterschiedlicher Unternehmen und Branchen, dass ein Anstieg an variabler Vergütung auch mit einem Anstieg von emotionalen Erschöpfungserscheinungen einhergeht. „Wir haben beobachtet, dass ein niedriger Anteil von ein bis zehn Prozent variabler Vergütung, gemessen am Gesamtgehalt, noch keine Auswirkungen auf das Wohlbefinden der Beschäftigten hat“, so Alavi. Ein Anteil von 20 bis 30 Prozent variabler Vergütung könne sogar einen leistungssteigernden Effekt haben. „Ab einem Anteil der variablen Vergütung von etwa 30 Prozent an der Gesamtvergütung jedoch gaben die Befragten vermehrt an, unter Erschöpfungssymptomen zu leiden, sich am Ende eines Arbeitstages oder der Arbeitswoche ausgelaugt, ausgebrannt, frustriert oder müde zu fühlen.“

Die Umfrageergebnisse belegen auch, dass es Unterschiede zwischen einzelnen Mitarbeitergruppen gibt. Nicht alle empfinden die Leistungsanreize als belastend; einige bleiben davon unberührt. Widerstandsfähiger zeigten sich insbesondere jene Beschäftigten, die über ganz bestimmte persönliche, mentale und soziale Fähigkeiten oder auch Erfahrungen verfügten. „Der Leistungsdruck macht denen weniger zu schaffen, die beispielsweise in der Vergangenheit recht stetig Leistungen erbracht haben oder über eine langjährige Berufserfahrung verfügen“, erläutert Alavi den Fund. Auch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die eine gute Beziehung zum Vorgesetzten und zum Team pflegen, kämen besser mit einem erhöhten Druck zurecht. „Diese Ressourcen oder Coping-Strategien helfen ihnen dabei, dem Druck standzuhalten“, weiß der Betriebswissenschaftler.

Aus den Ergebnissen lassen sich damit auch ganz praktische Rückschlüsse und Handlungsempfehlungen ableiten. „In Management-Kreisen gibt es nach wie vor Leute, die der Überzeugung sind, dass es der richtige Weg sei, Druck auf Beschäftigte auszuüben. Unsere Forschung zeigt etwas anderes“, so Sascha Alavi. „Es wäre sinnvoller, Vorgesetzte würden dafür sorgen, dass Lohnanreizsysteme gar nicht erst Unsicherheit und Stress erzeugen.“ Die Ergebnisse der Studie legen nahe, dass es ratsamer sei, variable Vergütungsmodelle individuell an Mitarbeitergruppen anzupassen und auf Strategien zu setzen, die negativen Folgen entgegenwirken und sie abfedern können, wie etwa Maßnahmen zum Team-Building oder zur Stressprävention.

Mittlerweile sind variable Vergütungssysteme in Deutschland und Europa umstritten, und viele Unternehmen haben bereits ihre Modelle angepasst. „Immer mehr deutsche Unternehmen erkennen, dass der Leistungsdruck kontraproduktiv ist“, weiß Alavi. Anders sei das in den USA. In der amerikanischen Automobilbranche beispielsweise, würden Beschäftigte im Vertrieb nach ihrem individuellen Umsatz vergütet. „In der recht individualistischen Kultur sieht man solche Leistungsanreize positiv“, erläutert Alavi. Deswegen sei es auch wenig überraschend, dass die Wirkung von Lohnanreizsystemen auf die Gesundheit in der US-amerikanischen Marketingforschung bislang nicht untersucht sei.

Am SMD forscht Alavi seit etwa sieben Jahren zu den Themen Stress, Leistungsdruck, Zeitdruck und sozialem Druck. Zuletzt betreute er gemeinsam mit Prof. Dr. Jan Wieseke, ebenfalls Lehrstuhlinhaber am SMD, das erfolgreiche Promotionsprojekt von Dr. Hanaa Ryari zum Einfluss chronischen Zeitdruckes auf Vertriebsbeschäftigte und ihre Leistungen. ▸



Sascha Alavi erforscht die Auswirkungen von Lohnanreizsystemen auf die Gesundheit von Beschäftigten.

> „IMMER MEHR DEUTSCHE UNTERNEHMEN ERKENNEN, DASS DER LEISTUNGSDRUCK KONTRAPRODUKTIV IST.“
>
> Sascha Alavi

Dazu nahm Ryari 291 Verkäufer-Käufer-Beziehungen eines großen Möbelunternehmens unter die Lupe. Ihre Ergebnisse zeigen, dass sich die chronische Zeitdruckwahrnehmung, entgegen der überwiegenden Forschungsmeinung, nicht ausschließlich negativ auf die Leistungen der Vertriebsmitarbeitenden auswirkt. „Unsere Studie verdeutlicht vielmehr, dass geringer bis mäßiger chronischer Zeitdruck, Beschäftigte dazu anregen kann, sich in ihrem Verkaufsverhalten flexibler an Kunden und Kundenbedürfnisse anzupassen“, betont Hanaa Ryari. Der Forschungsbeitrag zeigt jedoch auch: Übermäßiger chronischer Zeitdruck wirkt sich klar negativ auf die Leistung, das Verkaufsverhalten, aus. Die Studie des Bochumer Forschungsteams erschien im Juni 2020 im renommierten Journal of Retailing.

Aktuell erforscht Alavi gemeinsam mit Doktorandin Christina Desernot, welche positiven und negativen Auswirkungen die Einführung neuer Technologien auf den Vertriebsalltag haben kann. „Auf der einen Seite vereinfachen digitale Tools den Arbeitsalltag der Mitarbeitenden, indem sie ihnen zusätzliche Informationen zu Kunden bereitstellen oder bei Datenanalysen helfen. Auf der anderen Seite fühlen sich aber auch viele Vertrieblerinnen und Vertriebler vor dem Hintergrund der zunehmenden Automatisierung bedroht und fürchten, bald durch digitale Technologien ersetzt zu werden“, resümiert Desernot die bisherigen Ergebnisse.

Ob an der Startlinie des RUB-Laufes, beim Billardspiel in der Freizeit oder beim Publizieren – auch Alavi kennt Leistungs- und Zeitdruck. Erst im Dezember 2020 veröffentlichte die Zeitschrift Wirtschaftswoche das aktuelle Ranking der forschungsstärksten Betriebswirte im deutschsprachigen Raum. In der Rubrik „Die Jungen Wilden – die forschungsstärksten Betriebswirte unter 40 Jahre“ belegte Alavi Platz 32; im Bereich Marketingforschung rangierte er auf Platz 2. Ist der Druck zur Publikation und Einwerbung von Drittmitteln der Wissenschaft zuträglich? „Eher fragwürdig“, findet Alavi.

Text: lb, Fotos: dg

BAUWERKE UND BAUTEILE WIE *NATÜRLICH* GEWACHSEN

Die Formen der durch einen Algorithmus optimierten Bauteile wirken seltsam vertraut. Das ist kein Zufall: Sie durchlaufen einen Evolutionsprozess vergleichbar zu biologischen Prozessen.



Die filigranen Gebilde wirken vertraut, weil sie organisch aussehen.

Kostengünstig, langlebig und stabil sollen Bauteile in der Regel sein. Wie man sie gestaltet, wissen Ingenieurinnen und Ingenieure aus Erfahrung. Aber könnten sie nicht noch ein wenig besser werden? Dr. Philipp Junker vom Lehrstuhl für Kontinuumsmechanik und Dr. Dustin Jantos vom Lehrstuhl für Mechanik – Materialtheorie der RUB nutzen für die Beantwortung dieser Frage einen Algorithmus, den sie für die sogenannte Topologieoptimierung entwickelt haben. Sie geben einen Raum vor, in dem das zu planende Bauteil, zum Beispiel eine Brücke, entstehen soll. Ebenfalls vorgegeben werden die Stellen, an denen diese Brücke später befestigt werden muss. Dann lassen sie virtuell die Kräfte auf das Bauteil wirken, die auch in der Realität zu erwarten sind, im Falle der Brücke zum Beispiel Windlast und die Belastung durch den rollenden Verkehr. Durch die Berechnung schält

> „DAS IST EINE ART EVOLUTIONÄRER PROZESS."
>
> Philipp Junker

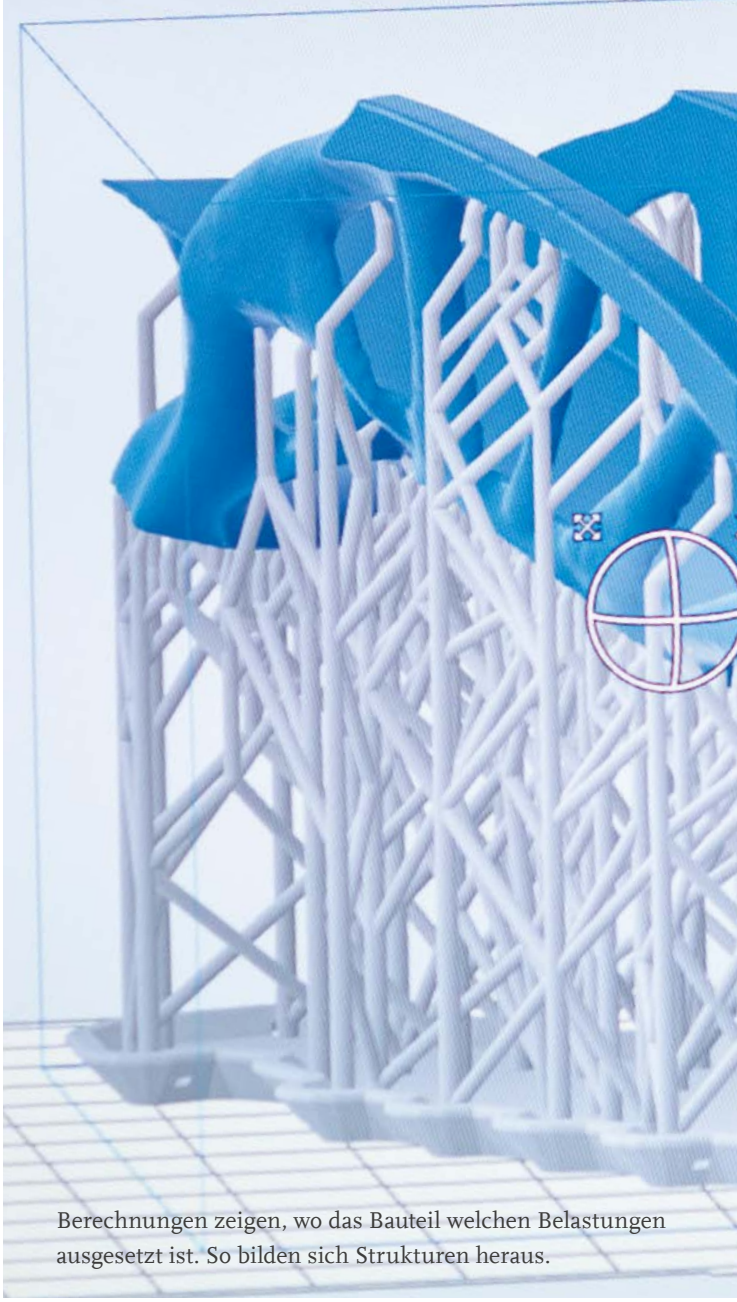
sich dann die Brücke aus dem Raum heraus. „Das ist eine Art evolutionärer Prozess", sagt Philipp Junker. Wo besonders große Drücke aufgefangen werden müssen, bleibt die Struktur dicker. Wo weniger starke Kräfte wirken, kann sie dünner bleiben, was Material spart. „Interessant ist, dass sich dabei natürlich anmutende Formen herausbilden, die zum Beispiel an Knochen oder Pflanzenteile erinnern", so der Forscher.

Die Stütze einer so berechneten Brücke sieht zum Beispiel sehr nach einem Baumstamm aus. Im 3D-Drucker lassen Junker und Jantos die berechneten Bauteile als reales Modell entstehen. „Man weiß vor der Berechnung nicht, welche Form dabei herauskommen wird", sagt Dustin Jantos. „Aber die Formen, die herauskommen, sind immer nachvollziehbar." Sie sind häufig gar nicht so weit entfernt von bewährten Ingenieurskonstruktionen wie etwa dem Fachwerk von stählernen Eisenbahnbrücken. „Die Brückenbauer freuen sich dann natürlich, weil sie sich durch die Berechnung in ihrer Arbeit bestätigt sehen", sagen die Wissenschaftler.

Eine Besonderheit des Algorithmus ist, dass die Berechnungsmethode auch komplexe Materialeigenschaften mit in die Simulation einbeziehen kann. „Man möchte natürlich kostengünstig bauen, und da Beton billiger ist als beispielsweise Stahl, möchte man ihn bevorzugt einsetzen", erklärt Dustin Jantos. Beton weist eine hohe Stabilität gegenüber Drücken auf. Zugbelastungen kann er aber weniger gut standhalten. Teile eines Bauwerks, die solche Zuglasten tragen müssen, sollten daher eher aus Stahl gefertigt werden, oder der Beton muss stahlverstärkt werden.

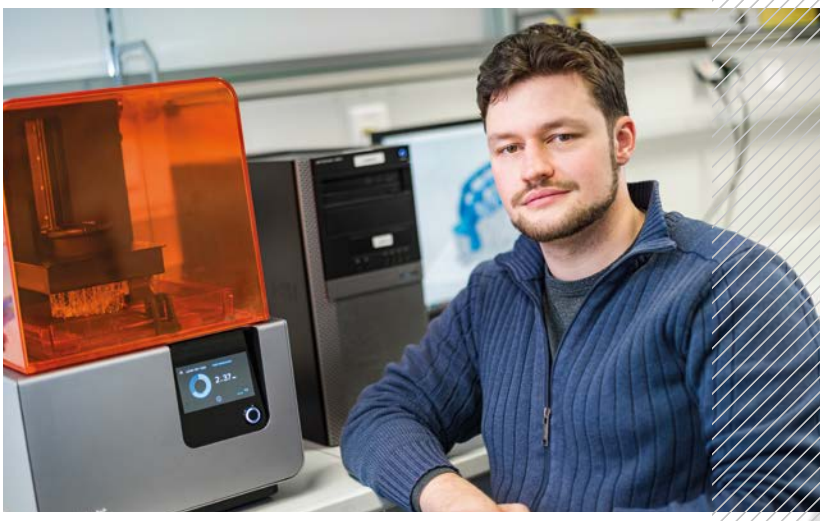
Der Algorithmus kann helfen, die Verhältnisse verschiedener Materialien und ihre jeweils genutzte Menge optimal auszutarieren. Dabei bezieht die Berechnung vielfältige Eigenschaften von verschiedenen Materialien ein. Während sich Stahl zum Beispiel unter Belastung aus allen Richtungen gleich verhält, hält Holz bei einer Belastung in Wachstumsrichtung andere Kräfte aus als in andere Richtungen. Die Ausrichtung solcher richtungsabhängigen Materialien und auch weitere Materialeigenschaften können ebenfalls durch den Algorithmus optimiert werden.

Die Forscher können für die Berechnung neben dem Bauraum und den Befestigungsstellen des zu berechnenden Bauteils auch weitere Vorgaben machen, zum Beispiel zur Geometrie einzelner Teile. „Manchmal ist das wichtig, damit der Algorithmus keine Luftschlösser berechnet", so Philipp Junker. Sonst kann es passieren, dass für eine Brücke unmöglich

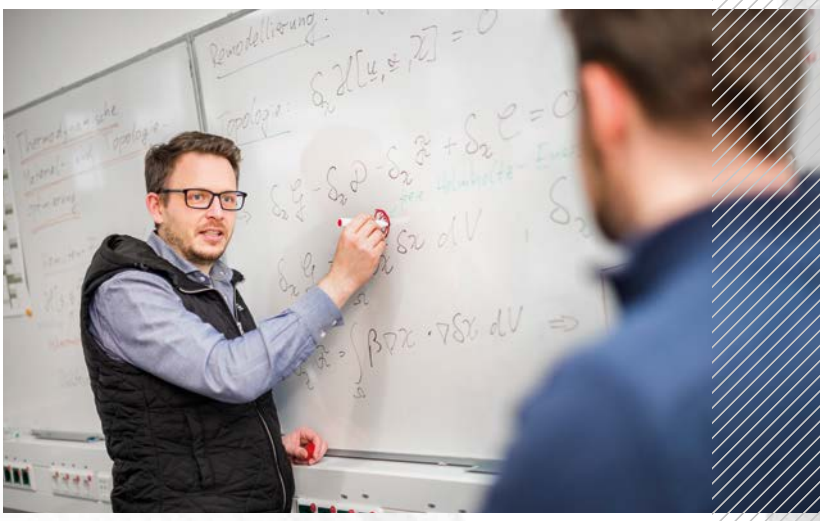


Berechnungen zeigen, wo das Bauteil welchen Belastungen ausgesetzt ist. So bilden sich Strukturen heraus.





Dustin Jantos beobachtet die Entstehung von Bauteilen in 3D.



Philipp Junker bezieht viele Faktoren in die Berechnungen mit ein.

dünne Stahlseile berechnet werden oder für andere Bauteile Strukturen, die sich einfach nicht herstellen lassen oder aus anderen Gründen eine feste Größe haben müssen.

In Kooperation mit einem Industriepartner berechneten die Forscher etwa eine Kette aus Laschen und Bolzen, die ein Zahnrad antreibt. Damit die Kette zum Zahnrad passt, müssen die Bolzen einen bestimmten Durchmesser haben. Hier darf der Algorithmus also nicht ansetzen: Nur die Laschen der Kette stehen für eine Optimierung zur Verfügung. In diesem Anwendungsfall geht es darum, die Tragkraft zu maximieren oder das benötigte Material zu minimieren.

Die Idee, per Computer mit einem an die Evolution angelehnten Verfahren Bauteile zu optimieren, ist gar nicht so neu: Schon seit 30 Jahren beschäftigen sich Forscherinnen und Forscher mit dem Prinzip. „Aber erst die Kombination mit dem 3D-Druck ermöglicht seit Kurzem die Realisierung solcher Teile“, erklärt Philipp Junker. Ohne 3D-Druck müsste man die Teile fräsen – der dafür notwendige Aufwand reduziert den Benefit der Optimierung drastisch. Da 3D-Druck auch mit Metallen durch punktuelles Aufschweißen möglich ist, vergrößert sich die Palette der Bauteile, die auf diese Weise hergestellt werden können. Ganz neu hinzugekommen zur Berechnung ist die Einbeziehung der Materialeigenschaften, wodurch nun das Zusammenspiel aus Geometrie und Material im finalen Bauteil optimiert wird und ganz neue Designformen entstehen. „Das ist unsere Spezialität“, sagt er.

Text: md, Fotos: dg

DRUCK IM FORSCHUNGS-ALLTAG



Didaktik

STRESS IM BIOLOGIE-UNTERRICHT

In meinem Forschungsbereich stehen Lernende, besonders Schülerinnen und Schüler, unter Druck. Mich interessiert, was in verschiedenen Unterrichts- und Lernsituationen Stress auslöst, wodurch er verstärkt und verringert wird. Besondere Drucksituationen in der Schule sind Prüfungen. Hier kommen zwei Stressfaktoren zusammen: Die Situation ist persönlich bedeutend, und es ist unklar, wie gut sie bewältigt werden kann. Dies gilt genauso für universitäre Prüfungen, aber auch – wie neuere Untersuchungen von uns zeigen – in der Übergangsphase zum Beispiel von der Schule zur Uni.

Auf der Ebene von Fachunterricht weiß man bisher noch wenig über Stressoren und Ressourcen. Für den Biologieunterricht konnten wir allerdings ein paar von ihnen bereits identifizieren: So verursachen beispielsweise Einzelarbeit und Reproduktionsaufgaben stärkere hormonale Stressreaktionen als Gruppenarbeit und Transferaufgaben. Ein hohes fachspezifisches Fähigkeitsselbstkonzept – also wenn die Lernenden ihre fachlichen Fähigkeiten als hoch einschätzen – hängt dagegen mit geringeren Stressreaktionen zusammen

Text: Dr. Nina Minkley, Foto: rs



Medienwissenschaft

DAS AUTO IST NICHT DIE LÖSUNG

Druck merke und erforsche ich, wenn ich aus der Haustür trete und laufend, radfahrend oder mit den öffentlichen Verkehrsmitteln zum Verkehrsteilnehmer werde. Wir erleben derzeit eine massive Veränderung der Mobilität, also der Art und Weise, wie Menschen sich bewegen und aufeinandertreffen. Verkehrsinfrastrukturen organisieren unser Zusammenleben – und sie setzen diese Räume unter kontinuierlichen Druck.

Eine Gesellschaft, deren Gravitationszentrum das Auto bildet, steht den Herausforderungen des Klimawandels und der Urbanisierung bereits heute hilflos gegenüber – nicht zuletzt, weil diese Herausforderungen durch die Dominanz der Automobilität hervorgebracht worden sind, das Auto aber nicht ihre Lösung sein kann. Dieser Prozess äußert sich für uns alle in einer Neuaufteilung des öffentlichen Raums und in der Abkehr von gewohnten Privilegien des Autos, die wiederum in Konflikten um beschränkten Raum resultiert. Als Medien- und Kulturwissenschaftler versuche ich, eine Beschreibungsprache für den Druck zu finden, dem wir ausgesetzt sind, wenn Verkehrsmittel unterschiedlicher Masse und Geschwindigkeit in einem beengten Raum aufeinandertreffen. Es geht um eine post-automobile und post-fossile Subjektivität.

Text: Prof. Dr. Florian Sprenger, Foto: Felicitas von Lutzau

Materialwissenschaft

NEUE METALLISCHE WERKSTOFFE

In gasförmigen Wasserstoff (H_2) werden große Hoffnungen hinsichtlich einer Wasserstoffökonomie, vor allem im Mobilitätsbereich, gesetzt, um auf diese Weise einen Weg der De-Karbonisierung zu beschreiten. Eine Möglichkeit, H_2 zu speichern und in Fahrzeugen zu transportieren, besteht darin, den Druck auf bis zu 800 bar zu erhöhen. Die meisten metallischen Konstruktionswerkstoffe, die unter Belastung in Kontakt mit diesem Druckwasserstoff treten, zeigen dabei unerwünschte Versprödungseffekte, ihre mechanischen Eigenschaften verschlechtern sich. Technisch etablierte Lösungen sind vergleichsweise teuer und bauen auf metallischen Elementen auf, die teilweise mit hohen CO_2-Footprints und Kosten verbunden sind. Finanziert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft forsche ich mit meinem Team am Lehrstuhl Werkstofftechnik daher an den Grundlagen der Entwicklung neuer metallischer Werkstoffe, die sich für die Anwendung unter Druckwasserstoff eignen und dennoch ressourcenleicht und billiger in der Herstellung sind.

Text: Prof. Dr. Sebastian Weber, Foto: dg





„ELEMENTARTEILCHEN SIND SEHR KLEIN, WIR KÖNNEN SIE NICHT EINFACH QUETSCHEN UND SCHAUEN, WIE SIE REAGIEREN."

Maxim Polyakov



Maxim Polyakov leitet an der RUB die Arbeitsgruppe „Theoretische Physik II, insbesondere theoretische Hadronenphysik". (Fotos: rs)



Theoretische Physik

WINZIGE TEILCHEN MIT ENORMEM DRUCK

Mit Stift und Zettel berechnete der Bochumer Physiker Maxim Polyakov einst eine Zahl, die 15 Jahre später die Forschungswelt verblüffte – und in der Zwischenzeit Dutzende Experimentalphysiker beschäftigt hielt.

Als Prof. Dr. Maxim Polyakov im Jahr 2003 seine theoretische Arbeit zum Druck im Inneren bestimmter Elementarteilchen veröffentlichte, ahnte er nicht, welche Verknüpfungen zur experimentellen Forschung sich eines Tages dadurch ergeben würden. Getrieben von der Neugier eines Grundlagenforschers hatte sich der RUB-Physiker mit der Frage beschäftigt, welche fundamentale Eigenschaft Elementarteilchen neben der Masse und dem Spin noch besitzen können. An der RUB leitet Polyakov die Arbeitsgruppe namens „Theoretische Physik II, insbesondere theoretische Hadronenphysik" – und wie der Name schon sagt, interessiert er sich vor allem für Teilchen aus der Klasse der Hadronen. Die bekanntesten Vertreter sind Protonen und Neutronen, aus denen Atomkerne aufgebaut sind.

„Solche Teilchen werden üblicherweise anhand ihrer Masse charakterisiert", erklärt der Wissenschaftler. „Masse bringen wir in unserem Alltag intuitiv mit Schwerkraft in Verbindung." Die Schwerkraft wiederum beschreiben Physiker basierend auf Einsteins allgemeiner Relativitätstheorie als Verformung der Raumzeit. „Eine ziemlich abstrakte Idee", gibt Polyakov zu. In seinen theoretischen Arbeiten klammerte er die Zeit-Komponente aus und widmete sich nur den Verformungen des dreidimensionalen Raums, in dem wir leben. Er analysierte, ob Elementarteilchen eine fundamentale Eigenschaft besitzen, die nur mit einer Verformung dieses ▸

Raums zusammenhängt – und wurde fündig. Diese Eigenschaft nannte er D-Term. „Eigentlich sollte man besser von Druck-Term sprechen“, sagt er aus heutiger Perspektive. „Der D-Term beschreibt die elastischen Eigenschaften von Elementarteilchen, also wie sie sich verhalten, wenn man sie quetscht.“ Das wiederum sagt etwas über den Druck aus, der im Inneren des Teilchens herrscht.

Maxim Polyakovs Theorie sagte voraus, dass der Druck im Zentrum eines Protons extrem groß sein müsse und nach außen wirke, während außerhalb des Zentrums ein geringerer Druck nach innen wirke. Er berechnete auch konkrete Zahlen für den Druck im Inneren eines Protons. Zahlen, die anschließend viele Jahre nur auf dem Papier existierten.

„Ich habe mit meinen Kollegen damals auch einen Vorschlag gemacht, wie man den Wert messen könnte – aber dazu braucht es einen besonderen Teilchenbeschleuniger, der damals nicht existierte“, erzählt der Physiker. Forscher am deutschen Beschleuniger HERA versuchten sich zwar an dem Experiment, aber die Technik konnte die erforderliche Leistung nicht bringen. So blieb es bei der Theorie, bis ein Team am US-amerikanischen Jefferson Lab 15 Jahre nach der Veröffentlichung von Polyakovs Arbeit ein Paper publizierte und seine Vorhersagen bestätigte. Ein besonderer Moment, erinnert sich Maxim Polyakov. „Das war wirklich eine Freude, ein Moment der Euphorie“, sagt er. „Zu sehen, dass Leute einen Beschleuniger gebaut haben, dass

> „DAS WAR WIRKLICH EINE FREUDE, EIN MOMENT DER EUPHORIE.“
>
> Maxim Polyakov

um die hundert Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an einem Experiment gearbeitet haben und monatelang mit einem Supercomputer die Daten auswerteten, um eine Zahl herauszubekommen, die ich mit Stift und Zettel ausgerechnet hatte – und dann kommen wir auf denselben Wert!“

Und dieser Wert hatte es in sich. Denn er zeigte, dass der Druck im Inneren eines Protons zehnmal höher ist als im Inneren eines Neutronensterns – des dichtesten Objekts im Universum. Warum aber war es so schwer, den Druck im Inneren eines Protons zu messen? „Elementarteilchen sind sehr klein, wir können sie nicht einfach quetschen und schauen, wie sie reagieren“, beschreibt Maxim Polyakov. „Am einfachsten wäre es gewesen, wenn wir ein Teilchen in die Nähe eines Schwarzen Loches hätten platzieren und beobachten können, wie es sich durch dessen Schwerkraft verformt. Aber Schwarze Löcher sind halt nicht in der Nähe.“ Die Messung musste indirekt erfolgen.

Mit dem Teilchenbeschleuniger am Jefferson Lab in Newport, USA, gelang es schließlich, Polyakovs Experimentidee in die Tat umzusetzen. Beim sogenannten Deeply Virtual Compton Scattering wurden Protonen mit einem hochenergetischen Elektronenstrahl beschossen. „Es ist ein bisschen so, als würde man mit einem Hammer auf ein Glas hauen“, vergleicht Maxim Polyakov. „In der Regel geht es dabei kaputt.“ Auch die Protonen werden durch den Elektronenbeschuss in den meisten Fällen zerstört. Aber hin und wieder bleiben sie intakt und werden nur verformt. Die Forscher zeichneten Milliarden solcher Ereignisse auf und zählten, wie häufig und unter welchen Bedingungen die Protonen zerstört wurden oder intakt blieben. Aus dem Verhältnis konnten sie die elastischen Eigenschaften des Protons und somit den Druck in seinem Inneren – den D-Term – berechnen.

Das war aber nicht der einzige Moment, in dem Maxim Polyakovs Theorien unerwartet die experimentelle Forschung berührten. Auch der erste Nachweis von Gravitationswellen eröffnete plötzlich neue Möglichkeiten für seine Arbeit. 2015 beobachtete die LIGO-Forschungskollaboration erstmals die bis dahin nur theoretisch vorhergesagten Gravitationswellen beim Verschmelzen zweier Schwarzer Löcher. „Wobei der Nachweis der Gravitationswellen für mich gar nicht das Entscheidende war“, so Polyakov. „Ich war mir immer sicher gewesen, dass sie existieren müssen. Aber nun konnte man Teilchen in der Nähe Schwarzer Löcher erforschen, also wenn sie einem immensen Druck ausgesetzt sind. Da habe ich meinen Doktoranden sofort gesagt: Hier wird unser D-Term eine große Rolle spielen.“

Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 110 „Symmetrien und Strukturbildung in der Quantenchromodynamik“ arbeitet Maxim Polyakov mit seinem Team nun an fundamentalen Gleichungen, die helfen sollen, die beobachteten Daten aus der Umgebung der verschmelzenden Schwarzen Löcher zu interpretieren. „Viele Jahre lang war meine Arbeit nur theoretischer Natur gewesen“, resümiert der Bochumer Forscher. „Aber auf einmal kamen alle Puzzleteile zusammen: die Messungen des D-Terms im Labor, die neue Möglichkeit, Teilchen in starken Gravitationsfeldern zu untersuchen – es ist schön, dass die Theorie so viele Anknüpfungen zur Realität bekommen hat.“

jwe



Um Maxim Polyakovs Theorie zu beweisen, brauchte es einen ganz besonderen Teilchenbeschleuniger, der schließlich am Jefferson Lab in den USA entstand. (Foto: Jefferson Lab)

DAS CONFINEMENT-PROBLEM

Die theoretischen Arbeiten rund um den D-Term sind nicht nur für die Physik in der Nähe Schwarzer Löcher interessant, sondern auch für das sogenannte Confinement-Problem. Es beschreibt die Tatsache, dass gewisse Elementarteilchen nie frei vorkommen. Protonen bestehen beispielsweise unter anderem aus Quarks. Selbst wenn man Protonen mit hohen Energien beschießt, um sie zu zerstören, entstehen in dem Prozess nie einzelne freie Quarks. Warum ist ein Rätsel. Das Clay Mathematics Institute hat das Confinement-Problem als Millennium-Problem ausgerufen und winkt mit einer Million Dollar Preisgeld für die, die es lösen. Die Messungen des D-Terms können die Kräfte sichtbar machen, die zwischen den Quarks wirken. Daher hofft Maxim Polyakov, dass die Arbeiten zur Lösung des Confinement-Problems beitragen können.

Politikwissenschaft

AUF **OFFENER BÜHNE** UND HINTER **VERSCHLOSSENEN TÜREN**

Interessengruppen nehmen unterschiedlich stark Einfluss auf Abgeordnete des Deutschen Bundestages. Wirtschaftliche Interessen finden auf informellem Weg mehr Zugang als andere.



Lobbyismus ist unheimlich intransparent. Das liegt in der Natur der Sache“, weiß Dr. Florian Spohr. Dem Politikwissenschaftler ist es dennoch gelungen, Interessengruppen hinter die Türen des Bundestages zu folgen und ihren Einfluss auf die deutsche Gesetzgebung zu messen. In seiner neuesten Studie vergleicht Spohr den informellen Zugang von Lobbyisten über die Vergabe von Hausausweisen mit dem institutionalisierten Zugang über Einladungen zu öffentlichen Anhörungen. Sein Fazit: „Lobbyismus im Bundestag stellt im Wesentlichen eine Unterstützung von organisierten Interessen für verbündete Abgeordnete dar. Fraktionen verschaffen den Lobbyisten Zugang, die ihnen inhaltlich nahestehen“.

Zu etwa jedem dritten Gesetzesentwurf, der aus der Bundesregierung kommt, finden öffentliche Anhörungen in den Ausschüssen des Bundestages statt. Hierzu werden Sachverständige eingeladen, zu denen neben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auch Vertreterinnen und Vertreter von Arbeitgeberverbänden, Agenturen, Kanzleien, Sozialverbänden, Verbraucherschutz- und Umweltschutzinitiativen, Gewerkschaften und Unternehmen zählen. „In den Anhörungen können die organisierten Interessen Stellung nehmen, Schwachstellen in den Entwürfen aufdecken, Änderungsbedarf oder auch Zustimmung äußern“, erläutert Florian Spohr. Doch wie wirkt sich ihre Meinung zum Gesetzesentwurf am Ende auf das finale Gesetz aus? Wer trägt wie stark zu einer Gesetzesänderung bei?

Um das zu erfahren, wertete der ehemalige RUB-Wissenschaftler in einem Forschungsprojekt gemeinsam mit Projektleiter Prof. Dr. Rainer Eising und Simon Ress vom Lehrstuhl für Vergleichende Politikwissenschaft fast 1.000 öffentliche Anhörungen aus. Die Forscher studierten die Positionen verschiedener Interessengruppen zu rund 600 unterschiedlichen Gesetzesentwürfen und kodierten sie entsprechend. „Wir haben die Positionspapiere je nach Haltung in fünf Kategorien eingeteilt: komplette Ablehnung, wesentliche Vorbehalte, neutral oder keine Positionierung, Zustimmung mit Korrekturwünschen, volle Zustimmung“, erklärt Spohr. Die dafür erforderlichen Stellungnahmen stehen allen Bürgerinnen und Bürgern online zur Verfügung und können von der ▸

Internetseite des Bundestages heruntergeladen werden. Die Änderung von Gesetzesentwurf zu Gesetz erfassten die Bochumer Wissenschaftler mit einem Algorithmus, den zwei Kollegen aus Dänemark und Irland entwickelt hatten. Anschließend setzten sie Position und Gesetzesänderung per Regressionsanalyse in Verbindung.

> WIRTSCHAFTLICHE INTERESSEN HABEN DEUTLICH MEHR EINFLUSS ALS ANDERE.
>
> Florian Spohr

Das Ergebnis der quantitativen Analyse war eindeutig: „Wirtschaftliche Interessen haben deutlich mehr Einfluss als andere Interessen“, fasst Spohr zusammen. Der Politikwissenschaftler erläutert, wie sich die Verzerrung zugunsten der Wirtschaftsinteressen bemerkbar macht: „Ein Gesetzesentwurf, der von der Wirtschaft stark abgelehnt wird, aber von öffentlichen Interessengruppen eher befürwortet wird, wird am Ende stärker geändert, als ein Entwurf, den öffentliche Interessenvertreter ablehnen, aber die Wirtschaftslobby gutheißt.“

Zu einem ganz ähnlichen Schluss kam Spohr auch, als er im Rahmen seiner Habilitation die Vergabe von Hausausweisen untersuchte. „Hausausweise für den Deutschen Bundestag erlauben es Lobbyisten, jederzeit ein- und auszugehen, gemeinsam mit Abgeordneten in der Kantine zu essen und in deren Büros vorstellig zu werden“, führt der Wissenschaftler aus. Normalerweise entscheide die Bundestagsverwaltung, wer einen solchen Ausweis bekomme, und vergebe ihn nur an Verbände und Vereine. Bis Ende 2015 gab es aber ein Schlupfloch: Auch die Fraktionen konnten Hausausweise vergeben. Daten über die von

ihnen vergebenen Ausweise musste der Bundestag Ende 2015 nach einer Klage des Portals abgeordnetenwatch.de herausgeben. Für Florian Spohr war das die einmalige Gelegenheit, einen Einblick in ein System zu gewinnen, das sonst unter Ausschluss der Öffentlichkeit arbeitet.

Der Lobbyismus-Forscher fand heraus, dass die Fraktionen keineswegs allen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Interessen gleichberechtigt Zugang zum Bundestag erlaubten. „Die Verteilung der Hausausweise war asymmetrisch zugunsten wirtschaftlicher Interessen. Über die Hälfte der Interessenvertreter mit Hausausweisen waren Vertreter von Unternehmen, Arbeitgeber- und Wirtschaftsverbänden". Spohrs Studie zeigte auch, dass Parteien vornehmlich Interessengruppen einluden, die ihnen politisch nahestanden. Darüber hinaus beobachtete er eine Vielzahl neuer Akteure, die über die Hausausweise informell den Kontakt zu Abgeordneten suchten.

In seiner aktuellen Studie betrachtet Spohr die beiden Wege der Einflussnahme, über öffentliche Anhörungen und Hausausweise, vergleichend. Seine Analyse legt deutliche Unterschiede in den Zugangsmustern von wirtschaftlichen und öffentlichen Interessengruppen offen. „Arbeitgeber- und Wirtschaftsverbände sowie Unternehmen besitzen weitaus häufiger Hausausweise als andere Interessengruppen. Sie bevorzugen diesen informellen, verborgenen Zugang, um ihre Bedürfnisse und Vorstellungen zu äußern", so Spohr. Öffentliche Interessengruppen wie Gewerkschaften und Wohlfahrtverbände hingegen würden überproportional oft auf die öffentliche Bühne der Anhörungen gebeten werden. „Gemeinwohl-orientierte Interessengruppen sind interessant für die Abgeordneten, weil sie häufig populäre Themen oder große gesellschaftliche Gruppen repräsentieren, und damit entscheidende Wählerstimmen oder deren Entzug in Aussicht stellen", weiß Spohr. Die Daten würden ferner zeigen, dass Regierungsfraktionen gezielt öffentliche Interessengruppen in Anhörungen einladen, um Regierungsinitiativen zu unterstützen. Wirtschaftsnahe Lobbygruppen würden hingegen eher eingeladen, um Änderungsbedarf an Gesetzesentwürfen der Regierung aufzuzeigen.

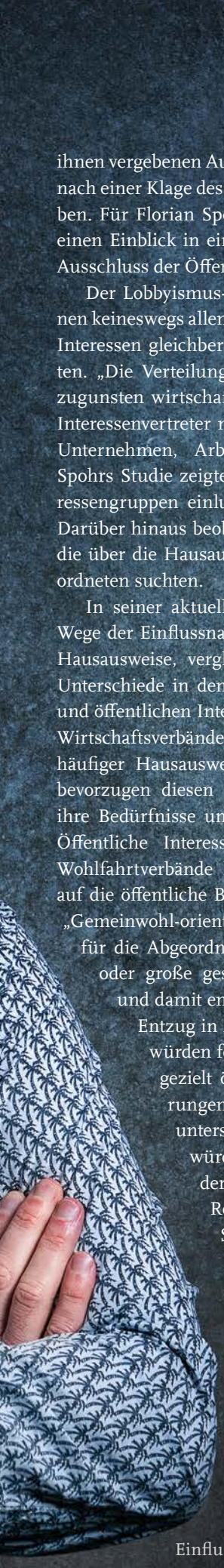
Spohrs Forschungsprojekte verdeutlichen auch, welche Hürden genommen werden müssen, um an Datensätze zu gelangen. Nur dank einer Entscheidung des Oberverwaltungsgerichts Berlin-Brandenburg war die Bundestagsverwaltung gezwungen, Informationen zur Vergabe der Hausausweise bereitzustellen. Weniger Glück hatte Spohr, als er, inspiriert von einem Ansatz seiner dänischen Kollegen, Briefwechsel zwischen Lobbyisten und gewählten Volksvertretern auswerten wollte. Die Bundestagsverwaltung lehnte seine Anfrage mit Verweis auf den Datenschutz ab. „Wird hier Datenschutz als Ausrede für Intransparenz angeführt?", fragt sich Spohr.

Seit der Neuregulierung der Hausausweisvergabe im Jahr 2016 können Privatunternehmen, Stiftungen, Think Tanks, Agenturen und Kanzleien keine Hausausweise mehr beantragen. Wie finden ihre Interessen nun Gehör? „Die Neuregelung macht das ganze System unübersichtlich", bemängelt Spohr. Der Politikwissenschaftler befürchtet: „Da nach der geänderten Regelung seit Anfang 2016 Hausausweise wieder nur von der Verwaltung an Vereine und Verbände ausgegeben werden, die anderen Akteure aber weiterhin da und auch teils gefragte Gesprächspartner sind, droht sich das Lobbying in eine noch weniger kontrollierte Grauzone außerhalb der Parlamentsgebäude zu verschieben." Spohr hält daher eine stärkere Regulierung für unabdingbar. „Es bedarf dringend der Erschließung weiterer Datenquellen." Der Forscher plädiert für die Einführung eines Lobbyregisters, welches die Kontakte von organisierten Interessen zu Abgeordneten dokumentiert und auch deren finanzielle Lobbyaufwendungen offenlegt. Das würde mehr Transparenz schaffen. Gut für die Bürgerinnen und Bürger – und für die politikwissenschaftliche Forschung.

Text: lb, Fotos: dg

i AKTUELLES PROJEKT

Im neuen Forschungsprojekt BUNDESTAGSLOBBY setzt Prof. Dr. Rainer Eising vom Lehrstuhl für Vergleichende Politikwissenschaft seit 1. März 2021 die Forschung zur Interessenvermittlung im Bundestag fort. In den nächsten drei Jahren untersucht Eising in einer Forschungsgruppe, gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, gemeinsam mit Prof. Dr. Patrick Bernhagen (Stuttgart), Prof. Dr. Heike Klüver (Berlin) und Prof. Dr. Kai-Uwe Schnapp (Hamburg), wie Lobbyisten Einfluss auf die Gesetzgebung nehmen.



Dr. Florian Spohr erforscht die Einflussnahme von organisierten Interessen auf Abgeordnete des Deutschen Bundestages.

BRÜCKENBAU MIT SPOILER

Während des Baus kann schon ein frischer bis starker Wind fatal für entstehende Brücken sein. Im Windkanal werden Schutzmöglichkeiten geprüft.



Rüdiger Höffer und Vanessa Bernard bereiten ein Windkanalmodell im Bochumer Grenzschichtwindkanal vor: Im Hintergrund ist das Sauggebläse zu sehen, die Holzkuben im Vordergrund sind Rauigkeitskörper, die zur Ausbildung einer turbulenten Strömungsgrenzschicht beitragen, die in kleinem Maßstab einen Starkwind in der Natur nachbildet. (Foto: dg)

Mit über 100 Stundenkilometern sind Autobahnbrücken oft schnell passiert, und mögen sie noch so lang sein. Beim näherem Hinsehen sind sie umso beeindruckender: Manchmal mehrere Hundert Meter lang überbrücken sie Täler oder Flüsse in schwindelerregenden Höhen. Wie bewerkstelligt man das eigentlich?

„Solche Brückenüberbauten werden heute meistens im Taktschiebeverfahren gebaut“, sagt Prof. Dr. Rüdiger Höffer, Leiter der Arbeitsgruppe Windingenieurwesen und Strömungsmechanik am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau an der Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen der RUB. „Diese Technik unterscheidet sich grundsätzlich vom Bau eines Brückenüberbaus auf Lehrgerüsten oder im Freivorbauverfahren. Heute läuft das Ganze maschineller ab. Bei Brücken baut man zuerst ein Widerlager und die anschließenden Stützen. Am fertigen Widerlager – der Stelle, an der die Brücke beginnen soll – wird parallel eine Feldfabrik aufgebaut, die in einer Serienfertigung die Abschnitte der Brücke vor Ort fertigt. Diese werden dann vom Widerlager aus unter hohem Druck mehrerer Pressen stückweise in Richtung der mittlerweile entstandenen Stützen vorgeschoben, während am Widerlager immer neue Teile angebaut werden. So wächst die Brücke zunächst ins Leere – Fachleute sprechen vom taktweisen Vorschub.

Die Dimensionen sind dabei enorm: Während man in den 1980er-Jahren nur Brücken bis etwa 40 Meter Gesamtlänge auf diese Weise fertigte, kann heute der Abstand zwischen zwei Stützpfeilern mehr als 120 Meter betragen. Der Überbau der Brücke wird als oben offener Stahlkasten gefertigt, „das kann man sich im Querschnitt so vorstellen wie ein breites U“, veranschaulicht Höffer. Die stabilisierende Fahrbahn aus Beton kommt erst später drauf, denn sie wäre viel zu schwer für die Bauweise. Ein einziges solches Teilstück kann 15 bis 30 Meter lang sein. Mit wenigen Metern pro Stunde wird es in Richtung der nächsten Stütze geschoben, dann wird das nächste daran montiert und verschraubt. „Wenn alles gut läuft, kann man so die Strecke zwischen zwei Stützen – wir sprechen von einem Feld – innerhalb einiger Tage überbrücken“, erklärt Rüdiger Höffer.

Weil die Schwerkraft die Spitze der sich vorschiebenden Brücke nach unten zieht, wird dort ein sogenannter Vorbauschnabel angebracht, eine Art Gitterträger, der eine dreieckige Form besitzt und sich auf die nächste Stütze schiebt, um die Brücke darauf zu heben. Dieser Schnabel kann gut und gerne 30 Meter lang sein, in einigen Fällen 40 Meter.

Diese riesige Größe wirft ein Licht auf die Kräfte, die auf die einzelnen Teile einwirken. Neben den hohen Druck- und Zugspannungen, die durch das Eigengewicht in den verschiedenen Querschnitten der Bauteile wirken, gibt es auch Einwirkungseffekte aus Lasten des Montagematerials und durch Montagarbeiten auf der wachsenden Brücke. Weitaus kritischer können aber die Einflüsse des Windes sein.

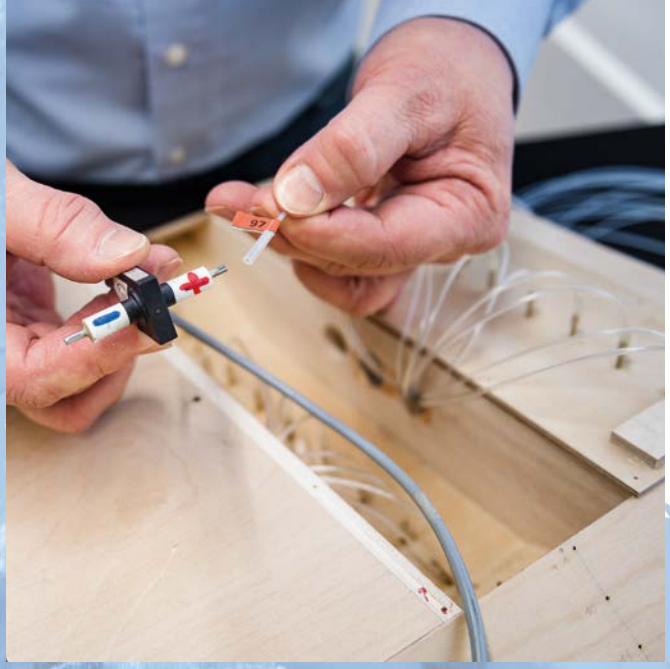
„Das oben offene U des Überbaus mit seinen zumeist geneigt angebrachten Wänden ist für Wind sehr angreifbar“, erläutert Höffer. Das Stahlkonstrukt biegt sich durch oder verdreht sich. Der Wind kann es in drei Richtungen verformen. Besonders gefürchtet sind Windböen, die die entstehende Brücke zu Schwingungen anregen: Ein Windstoß, der zu einer Schwingung führt, wird gefolgt von einem nächsten, der die Schwingungen verstärkt – das Bauwerk schaukelt sich auf. „Ein Sturm oder ein Sommergewitter kann dabei zu Amplituden im Meterbereich führen“, macht Rüdiger Höffer deutlich. Aber auch kleinere Schwingungen können das Bauwerk schädigen, denn die Schwingungen belasten die Einspannstelle der Brücke am Widerlager zyklisch. Eigentlich sind diese Bereiche des Bauwerks auf Millionen leichter Schwingungen ausgelegt. Während eines Sturms in der Bauphase genügen jedoch schon einige Hundert größere Bewegungen, um Mikrorisse zu verursachen, die eine aufwendige Sanierung oder sogar einen Austausch des Bauteils erzwingen. Deswegen wollen Ingenieurteams solche Schwingungen unbedingt vermeiden.

Eine Möglichkeit, ein Aufschaukeln durch den Wind zu verhindern, kann es sein, eine gegenschwingende Masse am Vorbauschnabel anzubringen, einen sogenannten Schwingungstilger. Die Masse eines solchen Systems kann durchaus eine Tonne und mehr betragen. Sie schwingt im Gegentakt zu den Schwingungen des Brückenträgers. So kann es die Amplituden der Tragwerksschwingung verringern, ist aber in Konstruktion und Einstellung sehr aufwendig und teuer. Überdies funktioniert es nur in einem Freiheitsgrad, also in eine Schwingrichtung. Winderregte Schwingungen, wie sie an den Brückenüberbauten im Vorschubzustand auftreten können, sind dagegen oft dreidimensional. Daher ist es wirksamer, die Schwingungsanregung durch die Kontrolle der Windkräfte zu vermeiden.

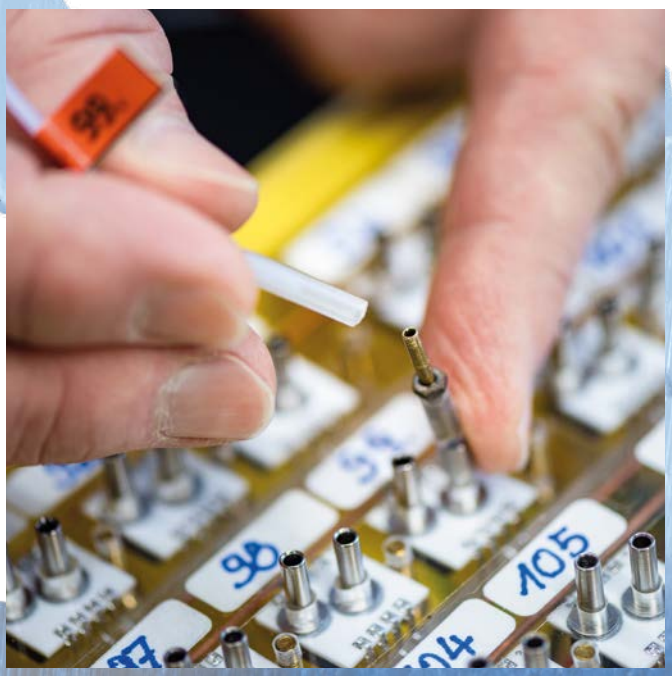
Das U schließen

Die Windingenieure an der RUB, von 1970 bis 2000 angeleitet durch Höffers Vorgänger, Prof. Dr. Hans-Jürgen Niemann, und nachfolgend von ihm selbst, untersuchen diese winderregten Schwingungsphänomene seit 50 Jahren. Neue Bauverfahren bringen dabei immer auch neue Probleme mit sich. „Manche, eigentlich aus dem Flugzeugbau bekannten Phänomene treten durch die neuen Bautechniken und Bauweisen heute oft an Bauwerken auf“, erzählt Rüdiger Höffer. Ein Beispiel ist die Talbrücke der Autobahn 46 bei Nuttlar, vor etwa zehn Jahren gebaut. Die höchste Stütze ist 115 Meter hoch, der größte Abstand zwischen zwei Stützen ebenfalls 115 Meter lang. Bei der Durchsicht der Planungsunterlagen der Brücke im Auftrag von Straßen.NRW fiel das Problem möglicher winderregter Schwingungen auf. Straßen.NRW beauftragte eine Studie im Grenzschichtwindkanal der RUB, der zu Rüdiger Höffers Forschungsgruppe gehört. „Da war die Baustelle schon eingerichtet“, berichtet Höffer.

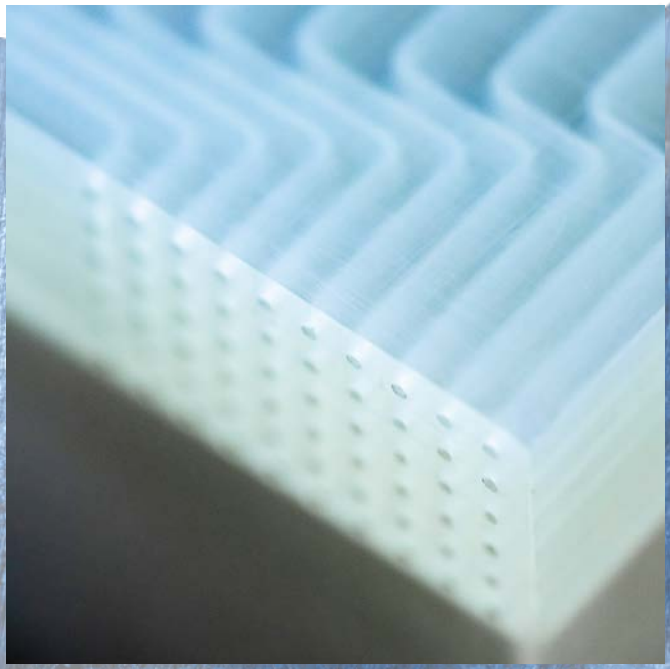
Obwohl die Problematik so spät entdeckt worden war, konnte eine Lösung für das Windproblem gefunden und die Straßenbaubehörde beraten werden: „Wir haben in Kooperation mit unserem Spin-off, dem Ingenieurbüro Niemann Ingenieure mit Sitz im benachbarten Technologiezentrum, spezielle Windkanalexperimente durchgeführt und gemeinsam vorgeschlagen, das U der noch unfertigen Brücke oben ▸



Für die Versuche im Grenzschichtwindkanal wird der Brückenüberbau im Modell maßstabsgetreu nachgebildet. Am Modell werden im Grenzschichtwindkanal die Außendrücke gemessen und mit hoher Frequenz abgetastet. Das Bild zeigt ein mit Druckmessstellen ausgestattetes Segment des Brückenmodells. Umlaufend werden Bohrungen zur Außendruckmessung in kleinen Abständen angebracht, die im Innern des Modells an Druckübertragungsschläuche angeschlossen werden. Diese werden an piezoelektrische Druckmesssensoren angeschlossen. (Foto: dg)



Aus den Druckmessungen an den einzelnen Messbohrungen ermitteln die Forschenden Druckverteilungen über der Oberfläche des Modells. Hieraus können sie Ersatzwindkräfte konstruieren. Zeitgleich werden Modellverschiebungen mittels Distanzlasern gemessen, sodass auch Wechselwirkungen bestimmt werden können. Hier wird ein Druckübertragungsschlauch auf den Sensoranschluss einer Sensorbatterie gesteckt. Danach muss noch sorgfältig geprüft werden, ob alles dicht ist. (Foto: dg)



Um die Genauigkeit zu steigern, ist es nicht selten erforderlich, Druckmessbohrungen sehr eng zu setzen. Dann lässt sich das Messmodell nicht mehr in Holz herstellen, sondern die vermessenden Bereiche werden im 3D-Druck-Verfahren hergestellt. Wegen des Platzmangels werden die Druckübertragungsschläuche in das additiv gefertigte Element eingedruckt. (Foto: dg)



Maßstabsgetreu nachgebildeter Kragarm des Vorschubüberbaus mit Vorschubschnabel zur Winddruckvermessung im Bochumer Grenzschichtwindkanal – Blick gegen die Strömungsrichtung. (Foto: Rüdiger Höffer)



Am Überbau der Talbrücke Nuttlar im Vorschubzustand ist der Vorbauschnabel deutlich zu sehen, welcher am Stahlkasten montiert ist. Der Stahlkasten ist bereits mit Schrägstützen versehen, auf die im Endausbauzustand nach Verschub die seitlich auskragenden Stahlbetonplattenteile der Fahrbahn aufgelegt werden.
(Foto: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TB-Nuttlar-3Manoftours.jpg)

mit Blechen so zu schließen, sodass der Wind nicht mehr hineingreifen konnte“, erklärt Rüdiger Höffer. Bei diesem speziellen Querschnitt und unter Berücksichtigung der Schwingungseigenschaften des Vorschubquerschnittes an den entscheidenden Vorschubpositionen genügte das, um die Gefahr durch den Wind zu entschärfen. Diese Methode hat Schule gemacht. So wurden seitdem bei einigen anderen Brücken die quer verlaufenden Stahlträger, die später die Betonfahrbahn tragen, zur Beeinflussung des Umströmungsfeldes mit Segeltuch bespannt.

„Die ungünstigen Formen der im Bau befindlichen Brücke zu verbessern, ist die eleganteste Methode, dem Wind ein Schnippchen zu schlagen“, so Rüdiger Höffer. Neben dem Schließen des Us gehört zu den Tricks des Teams aus Ingenieurbüro Niemann Ingenieure und der Forschungseinrichtung Grenzschichtwindkanal auch die Entwicklung entsprechender Spoiler, genauer Luftleitbekleidungen. Sie können viele Gestalten haben: Seitlich angebaute Windleitflächen in der Form eines spitzen Dreiecks mindern schwingungsanregende Wirbelablösungen.

Auch unausgesteifte Stützen der noch im Bau befindlichen Brücke sind besonders bei hohen Bauwerken durch den Wind gefährdet. Spezielle Anbauteile, zum Beispiel aus Holztafeln, können bedrohliche, periodische Wirbelablösungen zerreißen. Da sie allerdings auch den Windwiderstand der Stütze erhöhen, muss diese durch eine stärkere Bewehrung aus Stahl im Beton von vornherein verstärkt werden. Man muss also vor dem Bau der Stütze wissen, ob die Anbauteile aerodynamisch vonnöten sind, und gegebenenfalls die Stütze für die etwas höheren Windwiderstände bemessen. Für eine sichere Voruntersuchung ist ein gebäudeaerodynamischer Grenzschichtwindkanal, wie der Bochumer Windkanal, erforderlich.

Bei Hängebrücken sind die Seile ein Angriffspunkt für den Wind, der bedacht werden muss. „In Japan wurde in den 1990er-Jahren eine Brücke gebaut, deren Seile zum Schutz vor Verschmutzung und Alterung mit einem glatten Überzug versehen waren“, so Rüdiger Höffer. Bei Regen – und in Japan regnet es oft – bilden sich darauf kleine Rinnsale. Versetzt ein leichter Wind diese Wasserspuren in Schwingung, genügt das schon für ein gefährliches Aufschwingen des Seiles wegen seiner normalerweise nur geringen Dämpfung. Schwingungsdämpfer am Fußpunkt des Seiles sorgen deshalb für eine ausreichend erhöhte Dämpfung.

Für jedes neue Bauprojekt seien neue Untersuchungen nötig, betont Höffer. Seit 2004 ist sein Team auch auf die numerische Simulation der Auswirkungen von Wind auf Bauwerke spezialisiert. Sie kommen unter anderem dann zum Einsatz, wenn Baupläne nach der eigentlichen Untersuchung im Windkanal noch angepasst werden oder wenn kleinskalige Details untersucht werden sollen, die im Windkanal nur schwer ausgemessen werden können.

„Lange Zeit war der Windkanal an der RUB weltweit die Nummer eins für die Untersuchung geplanter Kühltürme“, blickt Rüdiger Höffer zurück. „Aufgrund der Energiewende werden die heute zumindest in Europa nicht mehr so häufig gebaut.“ Doch die Arbeit geht den Ingenieuren nicht aus: Neben Stadien und Brücken untersuchen sie heute im Windkanal auch die Tragwerke von Windenergieanlagen.

md

DRUCK IM FORSCHUNGS-ALLTAG



Geschichte

DER UNTERGANG DES RÖMISCHEN REICHES

Denkt man an den Untergang des Weströmischen Reiches im 5. Jahrhundert, kommen den meisten Menschen wohl äußere Angreifer in den Sinn – Hunnen, Goten oder Vandalen –, die das Imperium von außen unter Druck gesetzt, die Grenzen überwunden und das Reichsgebiet unter sich aufgeteilt hätten: also das, was man seit dem 18. Jahrhundert als „Völkerwanderung“ interpretiert hat. Tatsächlich war die Spätantike in ganz Eurasien eine unruhige, gewalttätige Zeit. Jedoch wird immer deutlicher, dass entscheidender Druck auch von innen kam: Eine Kette von Bürgerkriegen zerstörte die Legitimität der Kaiser, die den inneren Frieden nicht mehr gewährleisten konnten. In ihrer Not erhöhte die Regierung den Steuerdruck und verlor dadurch nur noch mehr an Rückhalt. Ehrgeizige Militärs erhielten immer größeren Spielraum; und als die kaiserliche Herrschaft kollabierte, nutzten die Anführer der „barbarischen“ Kriegerverbände, die in den römischen Bürgerkriegen gekämpft hatten, ihre Chance und errichteten eigene Reiche. Mit diesen Zusammenhängen beschäftigte ich mich in meiner Forschung.

Text: Prof. Dr. Henning Börm, Foto: Katja Marquard

Wissenschaftssystem

WIE DER DRUCK DURCH DIE CORONAKRISE STEIGT

Unter Druck funktioniere ich eigentlich sehr gut. Es ist ein Stück weit die Natur meines Jobs als Wissenschaftlerin. Forschung, Lehre, Publikationen, Projektanträge, Betreuung des wissenschaftlichen Nachwuchses, Gremienarbeit, Vorträge, Mitarbeit in wissenschaftlichen Fachorganisationen – dies alles unter einen Hut zu bekommen ist immer eine Herausforderung.

Seit Beginn der Covid-19-Pandemie ist es jedoch besonders für Eltern und leider oft noch mehr für Mütter zu viel Druck. Die Welt der universitären Lehre und die Welt der Wissenschaft laufen mit unvermindertem Tempo weiter – der Druck hat sich sogar erhöht: Lehr- und Prüfungsformate müssen auf Online umgestellt werden, und das Wissenschaftskarussell scheint sich noch schneller zu drehen, als es normalerweise schon der Fall ist, da viele durch Homeoffice mehr Zeit gewonnen haben. Währenddessen haben wir Eltern und oft speziell Mütter neben unserem Vollzeitjob auf einmal etliche zusätzliche Jobs als Erzieherinnen, Lehrerinnen und Hausfrauen. Das erhöht den Druck enorm, und es besteht eine reale Gefahr, dass viele ihm nicht standhalten werden.

Text: Prof. Dr. Nikol Rummel, Foto: Katja Marquard





Chemie

DRUCK BEEINFLUSST REAKTIONSPRODUKTE

Als Chemiker wollen wir Reaktionen kontrollieren, um aus bestimmten Startmaterialien gezielt die gewünschten Produkte herzustellen. Das geht durch die Wahl geeigneter Ausgangsstoffe oder die Veränderung der Reaktionsbedingungen, etwa Temperatur und Druck. Der Druck kann die Produktverteilung einer Reaktion oder eines chemischen Gleichgewichts gezielt beeinflussen. Bei hohem Druck reagiert das System so, dass sich das Gesamtvolumen möglichst verringert.

Im Rahmen des Exzellenzclusters RESOLV beschäftigen wir uns mit dem Zusammenspiel von Lösungsmittelmolekülen und Reaktionspartnern unter hohem Druck. Wir wollen untersuchen, wie sich die konkreten Wechselwirkungen zwischen diesen Teilchen verändern und wie sich dies auf die Kräfte zwischen Molekülen und auf Produktverteilungen auswirkt. Dass diese Untersuchungen auch einmal schiefgehen können, mussten wir erst kürzlich erfahren, als sich ein Messröhrchen für 17.000 Euro unter Druck mit einem lauten Knall in Splitter aufgelöst hat.

Text: Prof. Dr. Stefan Huber, Foto: dg



WARUM **FRACKING** ERDBEBEN IN WESTKANADA AUSLÖST

Das Aufbrechen von Gestein mithilfe von Flüssigkeiten und hohem Druck löst regelmäßig Erdbeben aus. Die genauen Ursachen sind bislang wenig erforscht.

Dass die Erde in der kanadischen Provinz Britisch-Kolumbien bebt, ist keine Seltenheit. Aber das Ereignis im Sommer 2015 sorgte für Schlagzeilen. Eine Stärke von 4,6 erreichte das Beben, das nicht natürlichen Ursprungs, sondern von Menschen ausgelöst war. Mit Hydraulic Fracturing, kurz Fracking, werden in Westkanada die reichen Erdgas- und Erdölvorkommen zugänglich gemacht. Immer wieder löst diese Praxis kleinere Erdbeben aus. Das 2015er-Ereignis war laut damaligen Medienberichten das bis dahin stärkste durch Fracking induzierte Erdbeben weltweit. Mittlerweile hält das chinesische Sichuan-Becken mit einem Beben der Stärke 5,4 diesen unrühmlichen Rekord.

„Erdbeben mit einer Stärke größer 4 können Schäden an der nahe liegenden Infrastruktur auslösen“, weiß die Leiterin der Gruppe Hydrogeomechanik Prof. Dr. Rebecca Harrington, die am RUB-Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik forscht. „Die Toleranz für diese Beben in Britisch-Kolumbien ist verhältnismäßig hoch, weil dort viele Menschen leben, die in der Öl- und Gasindustrie arbeiten. Allerdings hat sie in den vergangenen Jahren abgenommen.“

Mit ihrem Team erforscht Harrington die Ursachen von Seismizität an verschiedenen Orten der Welt, unter anderem in Westkanada, zusammen mit Kooperationspartnern der McGill University in Montreal. Ihr Ziel ist es, grundsätzlich zu verstehen, wie Erdbeben im Untergrund entstehen und welche Rolle die vorliegenden geologischen Bedingungen für das Aufkommen seismischer Aktivität spielen. Dazu werten die Forscherinnen und Forscher Daten von natürlichen und von menschgemachten Erdbeben aus.

Eine von vielen Datenquellen sind Aufzeichnungen von Erdbeben, die durch Fracking in einem 50 mal 50 Kilometer



17 solche Messgeräte hat das Team der RUB und McGill University in Westkanada ausgebracht, um seismische Aktivität aufzuzeichnen.

großen Areal in Westkanada ausgelöst werden. Denn anhand solcher Untersuchungen bekommen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nicht nur Einblicke, was beim Fracking-Prozess im Untergrund passiert. Vielmehr können sie ableiten, wie der Untergrund auch unter natürlichen Bedingungen auf Änderungen im Spannungsgefüge reagieren würde. „Der Fracking-Prozess ist für uns so etwas wie ein hochskalierter Laborversuch“, erklärt Rebecca Harrington. „Wir sehen, was passiert, wenn der Untergrund kontrollierten Stressbedingungen ausgesetzt wird – unter natürlichen Bedingungen wäre das viel schwieriger zu untersuchen.“

Mit Fracking lassen sich Öl- oder Gasvorkommen erschließen, die tief im Untergrund liegen. Eine Mischung aus Wasser, Sand und schwach konzentrierter Salzsäure wird mit hohem Druck in den Untergrund gepresst, um Risse im Gestein zu erzeugen und dieses durchlässig für das Gas oder Öl zu machen. Dazu wird vertikal in den Untergrund gebohrt, um in die Tiefe der Öl- und Gasvorkommen zu gelangen; dort wird ein bis zwei Kilometer in horizontaler Richtung gebohrt. Dieses horizontale Bohrloch wird in Segmente von je 50 Metern Länge geteilt, in jedes Segment wird nacheinander die Fracking-Flüssigkeit gepumpt, bis sich Risse im Gestein bilden. Die Flüssigkeit wird anschließend über ein eigens dafür angelegtes Entsorgungsbohrloch zurückgewonnen, wenn auch nicht vollständig. Der Fracking-Prozess selbst, die sich im Untergrund ausbreitenden Flüssigkeiten und die Abwasserentsorgung können Erdbeben auslösen.

„Im Western Canada Sedimentary Basin entstehen die Erdbeben durch das Fracking selbst, anders als zum Beispiel in der Mitte und im Osten der USA, wo die Abwasserentsorgung der Auslöser ist“, erklärt Rebecca Harrington. „Dabei werden in Westkanada wesentlich geringere Volumina Fracking-Flüssigkeit eingesetzt. Es gibt keine gute Erklärung, warum die Erdbeben dort entstehen, obwohl typischerweise so wenig Flüssigkeit im Spiel ist.“

2018 trat ein Beben der Stärke 4,5 auf, und zwar sehr früh im Fracking-Prozess, als noch kaum Flüssigkeit injiziert worden war. „Das zeigt, dass die Flüssigkeiten sich im Untergrund auf eine Art und Weise bewegen, wie wir sie nicht erwarten würden“, sagt Harrington. Dieses Beben und einige Nachbeben, von denen die größten immer noch Stärken von 4,2 und 3,4 erreichten, analysierte das RUB-Team zusammen mit den Kolleginnen und Kollegen der McGill University. Die beiden Institutionen haben im Western Canada Sedimentary Basin mittlerweile 17 seismische Stationen aufgebaut und können so auf ein dichtes Datennetz zugreifen.

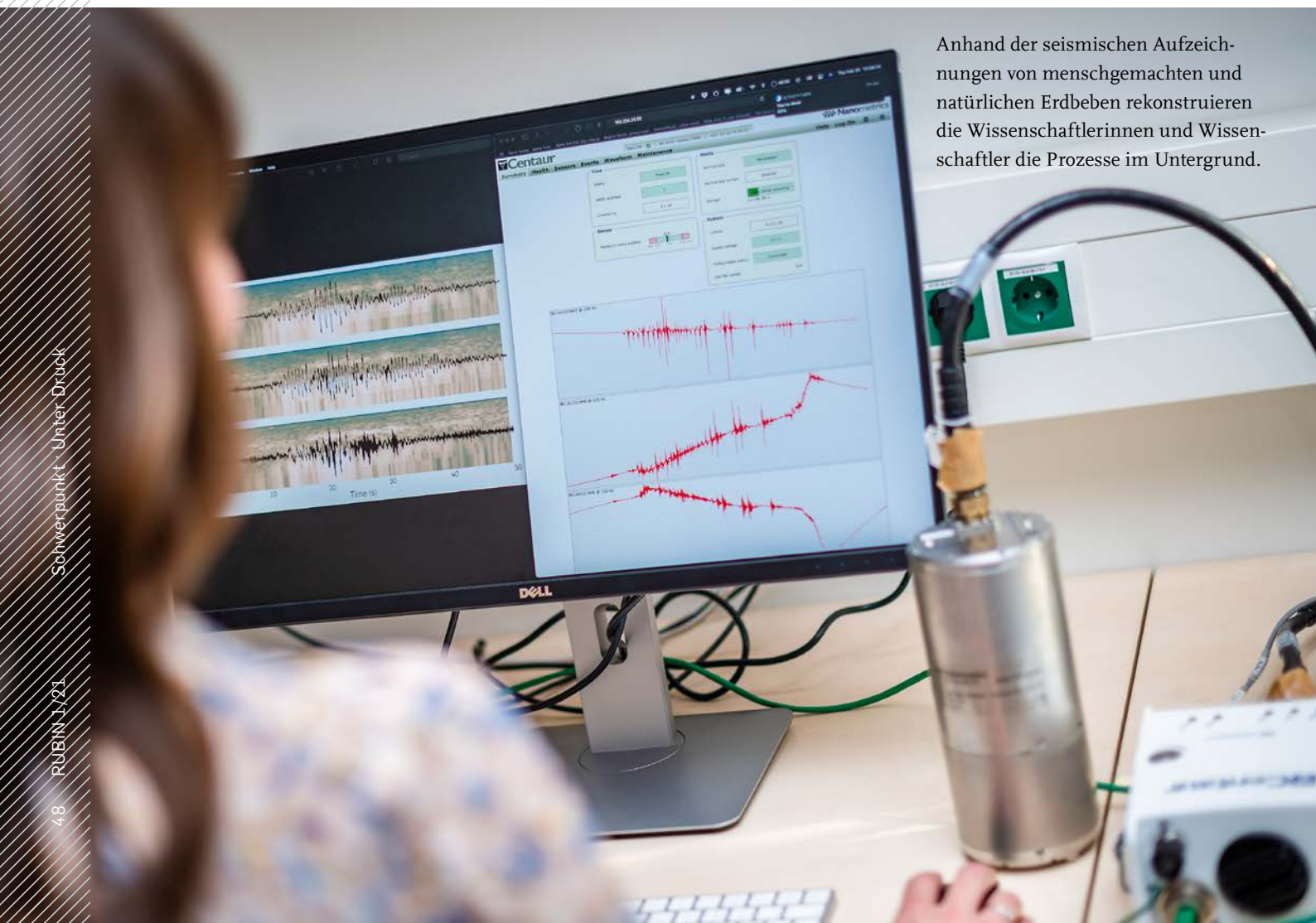
Anhand dieser Aufzeichnungen rekonstruierten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Quellen der verschiedenen Beben und wie sich diese im Untergrund ausgebreitet hatten. Die Daten brachten sie mit Informationen über den Fracking-Prozess und über die Beschaffenheit des Untergrundes zusammen. Mit Computersimulationen modellierten sie die Kräfte, die während der Beben im Untergrund gewirkt hatten. Das Fazit: „Vermutlich gab es eine geologisch betrachtet junge Verwerfung im Untergrund, also einen Bruch in der Erdkruste, der viele natürliche Risse im Gestein ▸



Rebecca Harrington leitet die Gruppe Hydrogeomechanik am RUB-Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik. Zuvor war sie an der kanadischen McGill University tätig, mit der sie heute noch kooperiert.

„DER FRACKING-PROZESS IST FÜR UNS SO ETWAS WIE EIN HOCHSKALIERTER LABORVERSUCH."

Rebecca Harrington



Anhand der seismischen Aufzeichnungen von menschgemachten und natürlichen Erdbeben rekonstruieren die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Prozesse im Untergrund.

erzeugt hatte. Durch diese konnte die Fracking-Flüssigkeit strömen wie durch einen Kanal“, beschreibt Rebecca Harrington. Der Flüssigkeitsstrom erreichte so schnell die darunterliegende Verwerfung, was das Spannungsgefüge im Untergrund störte und ein Erdbeben triggerte, das stärker als erwartet war.

Auch in anderen Arbeiten bestätigte sich, dass Erdbeben einerseits durch die Interaktion von Flüssigkeitsströmen und natürlich vorkommenden Verwerfungen im Untergrund zustande kommen können. Andererseits können Ansammlungen von Flüssigkeiten aber auch das Spannungsfeld im Untergrund so beeinflussen, dass Verwerfungen im benachbarten Gestein zum Versagen gebracht werden. „Oft nehmen Leute an, dass Erdbeben entstehen, wenn die Fracking-Flüssigkeit Risse im Gestein erzeugt und die durch die Risse entstehende seismische Aktivität sich im Untergrund fortpflanzt“, sagt Rebecca Harrington. „Manchmal ist das sicher auch der Grund. Aber nicht immer.“

Tausende von Erdbeben analysiert

Die Arbeitsgruppen der RUB und der McGill University haben begonnen, rund 8.200 Erdbeben zu analysieren, die die seismischen Stationen im Western Canada Sedimentary Basin zwischen Juli 2017 und September 2020 aufgezeichnet haben. Sie zeigten, dass viele Erdbeben an Stellen auftreten, an denen natürliche geologische Verwerfungen im Untergrund existieren, mit denen die Flüssigkeiten interagieren. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler wiesen außerdem nach, dass diese Verwerfungen optimal im Spannungsfeld der Erdkruste orientiert sind, um Erdbeben auszulösen. „Die Erdbeben entstehen zwar durch industrielle Aktivitäten, aber wenn sie einmal initiiert sind, verhalten sich die geologischen Verwerfungen ziemlich genau so wie bei einem Erdbeben natürlichen Ursprungs“, resümiert Harrington.

Der Vergleich zwischen Erdbeben, die auf Fracking oder auf natürliche Ursachen zurückgehen, beschäftigte die Forscherinnen und Forscher auch noch in einer anderen Studie. Konkret interessierten sie sich für einen physikalischen Parameter, den sogenannten Spannungsabbau, der bei Erdbeben eine Rolle spielt. Auf beiden Seiten der vielen Verwerfungen in der Erdkruste bauen sich im Lauf der Zeit durch die Bewegung der tektonischen Platten Spannungen auf. Wird die Spannung sehr groß, entlädt sie sich in Form einer ruckartigen Bewegung. Je größer die Verwerfung, desto mehr Energie wird frei und desto stärker ist das resultierende Beben.

Mit dem Spannungsabbau beschreiben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Unterschied in der Spannung vor und nach einem Beben entlang einer Verwerfung, wobei der Wert über die gesamte Fläche der Verwerfung gemittelt wird. Für natürliche Beben ist bekannt, dass der Spannungsabbau konstant zwischen ungefähr ein und zehn Megapascal beträgt und unabhängig von der Stärke eines Bebens ist. Der Wert hängt aber mit der seismischen Energie zusammen, die bei einem Beben frei wird. Aus dem Spannungsabbau und der Stärke eines Bebens lässt sich somit die frei werdende Energie berechnen – und abschätzen, wie viel Schaden ein Beben einer bestimmten Stärke anrichten würde.

Ob der Spannungsabbau auch für induzierte Erdbeben konstant ist, wollte Rebecca Harringtons Team herausfinden. „Wir beobachten viele kleinere durch Fracking, Bergbau oder andere Auslöser induzierte Erdbeben“, erklärt sie. „Es würde uns helfen, wenn wir basierend auf unseren Daten zu diesen Beben abschätzen könnten, wie viel seismische Energie bei größeren Beben frei werden würde, weil wir somit auch das Ausmaß der potenziellen Schäden besser abschätzen könnten.“ Dazu müssen die Forscherinnen und Forscher wissen, ob der Spannungsabbau konstant ist. Die Studie ergab, dass der Wert für Erdbeben in der Nähe von Bohrlöchern geringer ausfällt als für Beben, die sich mindestens ein bis zwei Kilometer entfernt vom Bohrloch ereignen. Letztere verhielten sich sehr ähnlich wie natürliche Erdbeben. Wie die gesamte Forschung von Rebecca Harrington zu induzierten Erdbeben zielte auch diese Studie darauf ab, grundsätzlich mehr über die Vorgänge im Untergrund zu lernen, um natürliche Erdbeben zu verstehen.

„Insgesamt zeigen unsere Studien, dass es keine grundsätzlichen Unterschiede zwischen natürlichen Erdbeben und durch Fracking ausgelösten Erdbeben gibt“, resümiert Rebecca Harrington. „Fracking scheint natürliche Prozesse anzustoßen, die dann zu Erdbeben führen. Alles, was wir über die induzierten Erdbeben lernen, kann uns also auch helfen, natürliche Erdbeben zu verstehen – und hoffentlich eines Tages dazu beitragen, dass wir Folgen für Menschen und Infrastruktur durch Erdbeben minimieren können.“

Text: jwe, Fotos: dg



DRUCK IM FORSCHUNGS-ALLTAG



Biologie

PANZER GEGEN DEN RÄUBERDRUCK

Beutetiere geraten mehrfach unter Druck, wenn Räuber in der Nähe sind. Der sogenannte Räuberdruck ist abhängig von der Anzahl und Vielfalt der Fressfeinde in der Umgebung. In meiner Forschung beschäftige ich mich mit Wasserflöhen, die in stillen Süßgewässern scheinbar ein gefundenes Fressen für viele Räuber sind: Rückenschwimmer, Büschelmückenlarven, junge Fische und der Urzeitkrebs Triops haben es auf sie abgesehen. Wasserflöhe treten ihren Fressfeinden aber nicht nur mit ihrem Krebspanzer entgegen, sondern auch mit induzierbaren Verteidigungen. Bei hohem Raubdruck können sie ihre Entwicklungsgeschwindigkeit oder ihr Verhalten anpassen, mitunter sogar ihre Morphologie abwandeln und Helme, Nackenzähne, Dornenkronen oder Kopfkämme ausbilden.

Neben diesen auffälligen morphologischen Verteidigungen haben wir festgestellt, dass sich auch die innere Struktur des Panzers gegen den Räuberdruck wappnet. Und das ist hier ganz wörtlich zu nehmen. Gegen den Beißdruck der Büschelmückenlarven-Kiefer lässt der Wasserfloh *Daphnia pulex* seinen Panzer dicker werden. Es werden mehr Chitinfasern eingelagert, wodurch der Panzer so stabil wird, dass eine durchschnittliche Büschelmückenlarve ihn nicht mehr zerdrücken kann.

Text: Dr. Sebastian Kruppert, Foto: dg



Psychologie

ERINNERN UNTER STRESS

Unter Druck befinden sich in meinem Forschungsalltag meine Kolleg*innen, Studierende oder gar ich selbst, wenn auch teilweise aus unterschiedlichen Gründen. Uns alle eint, dass wir in unsicheren Zeiten immer wieder lernen müssen, mit neuen Erkenntnissen und Vorschriften umzugehen, alte zu vergessen und alles zu geeigneter Zeit korrekt zu erinnern – eine Herausforderung! Dabei hat die Forschung – auch die an unserem Lehrstuhl – schon gut etabliert, dass man sich unter Druck, wie es beispielsweise in Prüfungssituationen der Fall ist, nicht mehr so gut erinnern kann. Unter Druck kann man unter anderem Stress subsummieren, der unterschiedliche Botenstoffe freisetzt wie beispielsweise das Cortisol. Stresshormone reduzieren allerdings nicht nur den Gedächtnisabruf, sie fördern auch die Konsolidierung von neu erlerntem Material. Das heißt, unser Gehirn speichert Details eines stressreichen Ereignisses sehr gut ab, damit wir uns später daran umso besser erinnern können. Corona wird wohl lange in unserem Gedächtnis bleiben!

Text: Privatdozent Dr. Christian Merz, Foto: Katja Marquard

Werkstofftechnik

DER VORTEIL DES ARBEITENS UNTER DRUCK

Der Ausdruck unter Druck (arbeiten) hat für mich nur positive Bedeutungen. Vor allem die Nutzung von hohen isostatischen Drücken bei hohen Temperaturen steigert die mechanischen Eigenschaften von Metallen, wie zum Beispiel solchen, die als Hochtemperatur-Turbinenschaufeln in Flugzeugtriebwerken weitverbreitet sind, und verlängert deren Standzeit. Zusätzlich reduziert eine Wärmebehandlung kombiniert mit dem heißisostatischen Pressen dieser metallischen Werkstoffe zum richtigen Zeitpunkt in der Verarbeitung die gesamte Wärmebehandlungszeit und somit die Herstellungskosten.

Wärmebehandlungen bei hohen Temperaturen und unter Druck führen sowohl zur Auslöschung der schädigenden und unvermeidlichen Poren, die eine Eigenheit des Herstellungsprozesses dieser Materialien sind, als auch zu einer chemischen Homogenisierung des Materials, welche notwendig für ein gutes mechanisches Verhalten ist. Schließlich kann die Anwendung einer solchen Wärmebehandlung unter Druck bereits genutzte Turbinenschaufeln zurück zu ihren ursprünglichen mechanischen Eigenschaften führen und dadurch ihre Lebensdauer verlängern, die Wiederverwendung dieser Materialien und einen geringeren Energieverbrauch begünstigen und Materialverschwendung reduzieren.

Text: Dr. Inmaculada Lopez-Galilea, Foto: dg





Foto: dg

Sportmedizin

WENN DIE **LUFT DÜNN** WIRD

Manche Sportlerinnen und Sportler müssen ihre Leistung in großer Höhe erbringen. Eine bestimmte Ernährung könnte dabei hilfreich sein.

Für ihre Forschung begibt sich Sportmedizinerin Prof. Dr. Petra Platen manchmal hoch hinaus. So bestieg sie unter anderem bereits den Kilimandscharo. Aber nicht nur bei der Arbeit auf diversen Gipfeln, auch in ihren Laboren auf dem RUB-Campus wird die Luft manchmal dünn. In den Räumen lässt sich der reduzierte Sauerstoffdruck simulieren, der auch in großer Höhe herrscht. Was diese Bedingungen mit dem Körper machen, vor allem wenn er sportliche Hochleistungen erbringen muss, und ob man gewisse Effekte mit Ernährung kompensieren kann, erforscht die Bochumer Wissenschaftlerin.

Bei hochintensiven Belastungen steht dem Körper nicht ausreichend Sauerstoff zur Verfügung, um über die üblichen Stoffwechselprozesse Energie zu erzeugen. Der Anteil sogenannter anaerober Prozesse, die ohne Sauerstoff Energie bereitstellen können, an der Gesamtenergieproduktion steigt. Dabei entsteht Milchsäure als Metabolit, deren Konzentration man im Blut bestimmen kann, aber auch im Urin lässt sich die Übersäuerung des Körpers in Form eines sinkenden pH-Werts nachweisen. Solche Schwankungen im Säure-Basen-Haushalt sind normal, jedoch strebt der Körper immer nach einem Gleichgewicht und einer pH-neutralen Stoffwechsellage. Ist die Übersäuerung unter Belastung zu stark, schützen sich die beanspruchten Muskelzellen selbst und drosseln die Energiebereitstellung; ansonsten würden sie sich selbst zerstören. Das führt aber auch dazu, dass die Belastung abgebrochen oder zumindest deutlich reduziert werden muss.

Höhe bringt Säure-Basen-Haushalt durcheinander

Manche Sportlerinnen und Sportler nehmen vor körperlichen Belastungen daher eine eher basische Ernährung zu sich, was die Säure-Toleranz des Körpers erhöht und die Leistungsfähigkeit verbessern kann. Eine basische Ernährung umfasst zum Beispiel viel Obst und Gemüse, eine saure Ernährung hingegen viele Fleisch- und Käseprodukte. Den Effekt der basischen Ernährung kann man auch mit einem Nahrungsergänzungsmittel, dem Bicarbonat, erzielen.

Ob diese Umstellung der Ernährung auch sportliche Leistungen in der Höhe verbessert, wollten Petra Platen und Mirjam Limmer, Doktorandin am Lehr- und Forschungsbereich Sportmedizin und Sporternährung der RUB, herausfinden. Denn auch ein Aufenthalt in Höhen von 3.000 Metern und mehr, wie sie beim Bergwandern, Bergsteigen, beim Klettern, bei verschiedenen Ski-Disziplinen oder beim Mountainbiking oft erreicht werden, bringt den Säure-Basen-Haushalt durcheinander.

Wenn die Luft in der Höhe dünn wird, also der Sauerstoffdruck geringer wird, beschleunigt sich die Atmung, um dem Körper mehr Sauerstoff zuzuführen. Dadurch wird aber auch vermehrt Kohlendioxid abgeatmet. „Im Säure-Basen-Gleichgewicht bedeutet das eigentlich, dass wir Kohlensäure abatmen“, erklärt Petra Platen. „Dadurch steigt der pH-Wert des Bluts, es wird also basischer.“ Prozesse in der Niere wirken diesem Effekt entgegen. Sie entfernen die Base Bicarbonat aus dem Blut, um den pH-Wert wieder zu neutralisieren. Bicarbonat wirkt im Blut also als Puffer, der den Säure-Basen-Haushalt im Gleichgewicht hält.

Um zu überprüfen, ob eine saure oder basische Ernährung die Leistungsfähigkeit in der Höhe beeinflussen kann, untersuchten die Bochumer Sportwissenschaftlerinnen eine Gruppe von 15 Studierenden. Diese absolvierten einen körperlichen Leistungstest, nachdem sie einmal vier Tage lang bevorzugt saure Lebensmittel zu sich genommen hatten, ein anderes Mal vier Tage lang bevorzugt basische Lebensmittel. Die Leistungstests durchliefen sie dabei jeweils unter normalen Umgebungsbedingungen und nach einem zwölfstündigen Aufenthalt im Höhenlabor mit einem reduziertem Sauerstoffgehalt.

i SÄUREN UND BASEN

Als Säure bezeichnet man eine chemische Verbindung, die Protonen (Wasserstoffionen, H^+) abgeben kann. Basen sind ihre Gegenspieler, sie können Protonen aufnehmen. Der pH-Wert einer Lösung gibt an, ob diese sauer (pH-Wert kleiner sieben), neutral (pH-Wert gleich sieben) oder basisch (pH-Wert größer sieben) ist. Kohlensäure (H_2CO_3) kann beispielsweise ein Proton abgeben und wird zu Bicarbonat (HCO_3^-), das wiederum als Base wirken kann.

Erwartungsgemäß reduzierte der Aufenthalt im Höhenlabor die Leistungsfähigkeit der Sportlerinnen und Sportler. Die Ernährung hatte jedoch keinen Effekt auf die Leistung. „Das hat uns überrascht“, sagt Petra Platen. „Wir hatten eigentlich damit gerechnet, dass die basische Ernährung die Leistungsfähigkeit in der Höhe steigern würde.“ Die Ernährung veränderte zwar den pH-Wert des Bluts und des Urins. Aber auf die Performance im Test hatte das keinen Einfluss. „Wir gehen davon aus, dass ein kurzer Aufenthalt von zwölf Stunden im Höhenlabor den Säure-Basen-Haushalt nicht ausreichend verändert, damit die Effekte sichtbar werden“, interpretiert die Bochumer Wissenschaftlerin.

Kein Effekt der Ernährung nachweisbar

Also überlegten Mirjam Limmer und Petra Platen sich ein neues Experiment: eine Exkursion auf eine 4.500 Meter hoch gelegene Hütte in den Alpen mit siebentägigem Aufenthalt in der Höhe. Mit einer Gruppe von 14 Studierenden erklommen sie den Gipfel. Um eine basische Ernährung zu simulieren, erhielt die Hälfte das Nahrungsergänzungsmittel Bicarbonat. Die restlichen Teilnehmerinnen und Teilnehmer erhielten Wasser als Placebo. „Aus logistischen Gründen haben wir in diesem Versuch mit Bicarbonat gearbeitet, da man auf den Hütten essen muss, was man bekommt, und nicht so leicht beeinflussen kann, ob man eher saure oder eher basische Lebensmittel zu sich nimmt“, erklärt Platen eine der logistischen Herausforderungen des Experiments.

Die Gruppe hatte reichlich Testequipment mit auf den Berg genommen, um Blut- und Urinproben direkt vor Ort analysieren und standardisierte Leistungstests durchführen ▸



Obst, Gemüse und Nüsse sind Bestandteile einer basischen Ernährung. Viele Fleisch- und Käseprodukte hingegen gehören zu einer sauren Ernährung. (Foto: rs)

zu können. Für letztere mussten die Probandinnen und Probanden auf der Stelle mit maximaler Geschwindigkeit und Kraft für 60 Sekunden gegen den Widerstand eines Seils ansprinten, von dem sie mit einem Bauchgurt festgehalten wurden. Den Test hatte Limmer speziell für solche Untersuchungen im Feld entwickelt, da er relativ platzsparend ist und das Equipment nicht zu schwer. Denn: „Wir müssen natürlich alles, was wir benötigen, selbst mit auf den Berg schleppen“, so Platen.

Wie erwartet wirkte sich die Bicarbonat-Einnahme auf den pH-Wert von Blut und Urin aus, der basischer wurde. Allerdings fanden die Forscherinnen auch in diesem Experiment keinen signifikanten Einfluss von Bicarbonat auf die Leistungsfähigkeit in der Höhe. Vermutlich, weil letztendlich Daten von zu wenig Personen vorlagen. „Einige Teilnehmende sind höhenkrank geworden und wir mussten sie vom Berg wieder runterbringen“, erinnert sich Petra Platen. „Forschung unter natürlichen Bedingungen ist halt nicht ganz einfach.“ Sinn und Zweck der Studie sei es gewesen, sich gezielt in ein Stoffwechsel-Ungleichgewicht zu bringen. „Wir sind mit Absicht etwas schneller aufgestiegen, als man es normalerweise tun würde“, erklärt sie. „Dabei nähern wir uns einer körperlichen Grenze, und natürlich müssen wir auch immer eine Notausstiegsoption haben.“ Aus diesem Grund begleitet die ausgebildete Höhenmedizinerin solche Exkursionen immer persönlich, um die Studienteilnehmerinnen und -teilnehmer medizinisch betreuen und bei Unwohlsein zurück ins Tal bringen zu können.

Die Höhe war aber nicht das einzige, was der Gruppe zu schaffen machte. „Bicarbonat schmeckt sehr bitter und ist etwas ekelig“, weiß Petra Platen. „Das kann manchmal Magen-Darm-Probleme verursachen.“ So mussten die Studienleiterinnen im Laufe des Experimentes die Dosis verringern, was den Datensatz weiter beeinflusste. „Wir müssten das Experiment also noch einmal mit einer größeren Gruppe in den Bergen wiederholen – oder in einem Höhenhaus, in dem man bequem mehrere Tage unter sauerstoffarmen Bedingungen wohnen kann“, resümiert Platen. „Das geht allerdings unter den aktuellen Corona-Bedingungen nicht.“

jwe

Petra Platen leitet an der RUB den Lehr- und Forschungsbereich Sportmedizin und Sporternährung. (Foto: rs)

Die Ernährung beeinflusst den Säure-Basen-Haushalt, wie man beispielsweise am pH-Wert des Urins erkennen kann. (Foto: rs)

DAS *WASSER* DIE ARBEIT MACHEN LASSEN

Für viele Techniken muss man tief in die Erde bohren, zum Beispiel für die Geothermie. Bislang genutzte Bohrverfahren bleiben dabei noch weit hinter ihren Möglichkeiten zurück.

Wasser, Hitze und mechanische Kräfte macht sich das Team von Prof. Dr. Rolf Bracke zunutze, um neue Bohrverfahren zu entwickeln, die auch unter den extremen Bedingungen tief unter der Erdoberfläche funktionieren. Die Forschung findet an der Schnittstelle zwischen Ingenieur-, Geo- und Materialwissenschaft statt. Rolf Bracke wurde 2020 auf den Lehrstuhl für Geothermische Energiesysteme an der RUB berufen und ist zudem Leiter der Fraunhofer-Einrichtung für Energieinfrastrukturen und Geothermie, kurz IEG, die Anfang 2020 ihre Arbeit in Bochum aufgenommen hat. Im Interview erzählt er, wie neue Bohrverfahren entwickelt werden, wie sie funktionieren und welchen Nutzen sie haben könnten.

Herr Professor Bracke, Sie erforschen verschiedene Bohrverfahren, mit denen man tief in die Erdkruste eindringen kann. Für welche Zwecke braucht man solche Bohrungen?

Interessant sind sie zum Beispiel im Kontext der Energiewende. Wir wollen weg von Erdöl und Erdgas hin zu einem Kohlenwasserstoff-freien Energiesystem, zum Beispiel mithilfe der Geothermie. Dafür muss man vier bis fünf Kilometer tief in die Erdkruste bohren. Tiefe Bohrungen benötigt man aber auch für die Atommüll-Endlagersuche oder für Erkundungsbohrungen im Bergbau oder für den Bau von Tunnelsystemen. Es gilt immer noch der alte Bergmannsspruch: Vor der Hacke ist es düster. In den Untergrund können wir nur reingucken, wenn wir ihn mit geeigneten geophysikalischen Verfahren untersuchen oder reinbohren.

Was sind die Herausforderungen bei diesen Bohrungen?

Auf dem Weg in die Tiefe trifft man sehr verschiedene Gesteine an. Diese Gesteine sollen unter teilweise extremen temperatur-, druck- und gesteinsspezifischen Randbedingungen möglichst schnell und einfach zerstört werden. Das zerstörte Gestein muss dann aus einigen Kilometern Tiefe an die Oberfläche transportiert werden.

Und welche Verfahren eignen sich dafür?

Traditionell bohrt man mechanisch mit Meißeln, die sich teilweise gegeneinander drehen und das Gestein abschaben. Das macht man seit 100 Jahren so, die Branche ist relativ konservativ. Allerdings arbeitet sich das Werkzeug an dem Gestein ab, es gibt einen hohen Verschleiß. Aus der Wissenschaft heraus versuchen wir daher, ein Arbeitsmedium zu finden, was das Gestein leichter zerstört. Man kann nicht nur mechanisch bohren, sondern auch thermisch oder hydraulisch oder mit einer Kombination davon.

Mit Hitze und Wasser lässt sich das Gestein zerstören?

Welches Verfahren sich eignet, hängt immer vom Gesteinstyp ab. Wenn man Wasser fokussiert und unter einen hohen Druck von 1.000 bar und mehr setzt, wird es härter als das Gestein. Man kann auch Metall mit Wasser schneiden, dafür gibt es bereits etablierte Verfahren. Wir entwickeln nun Bohrköpfe und hydraulische Systeme, mit denen man über Entfernungen von mehreren Kilometern bohren kann. Wir nutzen das Wasser zum einen, um das Gestein aufzulösen, zum anderen, um das zerstörte Gestein an die Oberfläche zu transportieren.

Mit dem Lehrstuhl für Laseranwendungstechnik haben wir auch mal ein teilweise thermisches Verfahren entwickelt, bei dem wir das Gestein mit der Hitze eines Lasers vorerweichen, bevor es mechanisch abgetragen wird. Auch in diesem Verfahren benötigen wir Wasser: Das Laserlicht wird durch einen Druckwasserstrahl geleitet, damit es nicht streut, sondern fokussiert auf das Gestein trifft. In der Tiefe, wo das Gestein zerstört wird, tobt ein Dreck-Tornado. Daher nutzen wir noch einen zweiten rotierenden Wasserstrahl, der das Bohrloch im unmittelbaren Umfeld des Leitstrahls sauber hält. Unser Prototyp kann extrem harte Gesteine zerstören, die man mechanisch kaum schneiden kann, etwa Glas oder Quarzite.

In einem weiteren Verfahren mischen wir dem Wasserstrahl abrasive Stoffe bei, etwa feinste Silikatkörner, sodass eine Kombination von hydraulischem und mechanischem Abtrag entsteht. Das ist für nicht ganz so harte Gesteine geeignet.

Unsere neueste Entwicklung sind extrem schnell laufende Mikro-Bohrturbinen, die wie überdimensionale Zahnarztbohrer mit 100.000 Umdrehungen pro Minute das Hartgestein zerstören und in großer Tiefe noch aus bestehenden Tiefbohrungen heraus steuerbar sind.

Wie entwickelt man solche Verfahren?

In mehreren Stufen: Zuerst entwickeln und simulieren wir die Werkzeuge am Computer. Dann bauen wir sie in kleinem Maßstab auf und testen sie im Labor. Anschließend prüfen wir die Werkzeuge im Technikum unter ähnlichen Bedingungen, wie sie in der Erdkruste herrschen. Schließlich gehen wir damit in ein echtes Bohrloch. Wir betreiben eine Forschungsbohranlage auf dem Kalwes, mit der wir bis zu 1.000



Meter tief in die Erde bohren und die Werkzeuge unter realistischen Bedingungen testen können. Danach kommt dann der Schritt zu Großbohranlagen der Industrie.

Wie lassen sich denn im Labor die Bedingungen nachstellen, die tief in der Erde herrschen?

Mithilfe unserer MATCH.BOGS, das ist ein großer Bohrlochsimulator. Die Anlage erzeugt in einem Autoklaven Temperaturen von bis zu 180 Grad Celsius und Umgebungsdrücke von über 1.000 bar. Wenn wir einen drei Meter langen Gesteinskern in den Autoklaven legen, ist es so, als ob wir ihn sechs Kilometer in die Tiefe versenken würden. Dann ist das Material nicht mehr spröde wie an der Oberfläche, sondern fängt an, plastisch zu werden. Ein Bohrwerkzeug muss in der Tiefe also quasi mit einem anderen Gestein umgehen, als wenn es an der Oberfläche arbeitet. An diesen Druckreaktor können wir eine Bohrlafette anschließen und dann unter den Bedingungen, wie sie tief in der Erde herrschen, die Interaktion von dem Bohrkopf und dem Gestein untersuchen.

Welchen Vorteil hätten solche neuen Verfahren im Gegensatz zu den etablierten?

Die Verfahren könnten schneller, sicherer und günstiger sein. Indem wir den Kontakt vom Bohrkopf zum Gestein minimieren, weil wir beispielsweise das Wasser die Arbeit machen lassen, wird der Verschleiß der Werkzeuge geringer.

Außerdem arbeiten wir daran, mit akustischem Monitoring Schäden im Bohrsystem vorhersagen zu können. Wir nehmen die vielen verschiedenen Frequenzen auf, die wir während des Bohrprozesses hören. Wenn das Werkzeug erste Ermüdungserscheinungen zeigt, ändern sich die Geräusche. Die Daten werten wir mittels künstlicher Intelligenz aus. Das Ziel ist, reagieren zu können, bevor das Bohrwerkzeug tief unten in der Bohrung einen Schaden erleidet. Wenn ein kaputtes Werkzeug nicht mehr geborgen werden kann, kann das dazu führen, dass man die Bohrung aufgeben muss, die vielleicht schon einige Millionen Euro gekostet hat.

Mit ähnlichen Verfahren wollen wir den Bohrprozess in Zukunft vorausschauend steuern. Das akustische Monitoring kann uns etwas darüber sagen, wie homo- oder heterogen das Gestein ist, das vor dem Bohrkopf liegt, oder ob ein Schichtwechsel zum Beispiel von Sandstein zu Hartgestein ansteht. Dann könnte man die Bohrparameter wie Druck oder Drehzahl entsprechend anpassen. Dazu entwickeln wir ein selbstlernendes automatisches Verfahren basierend auf Big Data und künstlicher Intelligenz.

Text: jwe, Foto: Fraunhofer IEG

Bauforschung

BIS DIE VERBUND-STÜTZE BRICHT

Neue Verbundkonstruktionen und Hochleistungswerkstoffe versprechen Vorteile für den Bau. Ihre Sicherheit müssen sie unter extremen Bedingungen in der Versuchshalle beweisen.

Schlankere Konstruktionen, mehr Nutzfläche und besserer Brandschutz: Neue, hochfeste Verbundkonstruktionen mit Hochleistungswerkstoffen versprechen Verbesserungen für den Bau. Noch sind sie nicht im Einsatz, weil es für sie keine Erfahrung in der Praxis und keine Normung gibt. Ihre Eigenschaften müssen zunächst gründlich geprüft werden, vor allem ihre Sicherheit. Damit beschäftigen sich Ingenieure wie Przemyslaw Schurgacz und Dennis Witteck von der RUB.

In der Doktorarbeit von Przemyslaw Schurgacz stehen Stützen im Mittelpunkt, die zum Beispiel beim Bau von Hochhäusern zum Einsatz kommen. Anders als übliche Verbundstützen, die beispielsweise aus einem mit herkömmlichem Beton gefüllten Stahlrohr bestehen, hat er die Eigenschaften zweier verschiedener Konstruktionen geprüft: Zum einen ein betongefülltes Hohlprofil aus höchstfestem Stahl, in dessen Innern ein massiver Stahlkern liegt. Zum anderen eine Stütze, in deren Innern ein weiteres Stahlrohr liegt, das wiederum mit Hochleistungsbeton gefüllt ist.

„Alle Werkstoffe haben ihre Charakteristika, die Vor- und Nachteile mitbringen“, sagt Schurgacz. So ist Beton ein verhältnismäßig günstiger Baustoff, der außerdem über gute isolierende Eigenschaften gegenüber Temperaturen verfügt. Das verzögert im Brandfall die Erwärmung. Allerdings ist er massig, oftmals nur ungenau zu verarbeiten und sieht nach einiger Zeit bisweilen nicht mehr schön aus. Stahl hingegen erlaubt schlankere Konstruktionen und ist sehr präzise und schnell montierbar. Dafür erwärmt er sich schnell und erfordert im Brandfall oft zusätzliche (Schutz-)Maßnahmen.

Die beiden geprüften Konstruktionen sollen die guten Eigenschaften beider Werkstoffe vereinen. Der hochfeste Spezialbeton im Innern der Stützen entsteht durch die Wahl sehr





Die Prüfanlage erstreckt sich über mehrere Etagen. (Foto: KIBKON, RUB)

feiner Sande und chemischer Zusätze. Um herauszufinden, was die Stützen unter realistischen Bedingungen aushalten, fertigte das Team des Lehrstuhls für Stahl-, Leicht- und Verbundbau von Prof. Dr. Markus Knobloch die ein- und zweigeschossigen Verbundstützen in der Gemeinschaftseinrichtung Konstruktionsteilprüfung KIBKON der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften und betonierte sie in einem Fertigteilwerk. Die Stützen wurden dann in der Halle der Konstruktionsteilprüfung in die große Prüfmaschine eingebaut und geprüft. Die Maschine ist eine der weltweit größten ihrer Art und besitzt eine Kapazität von 2.000 Tonnen – das entspricht mehr als 2.000 VW Käfer. „Die Anlage fängt schon

> „DIE ANLAGE FÄNGT SCHON IM KELLER AN."
>
> Przemyslaw Schurgacz

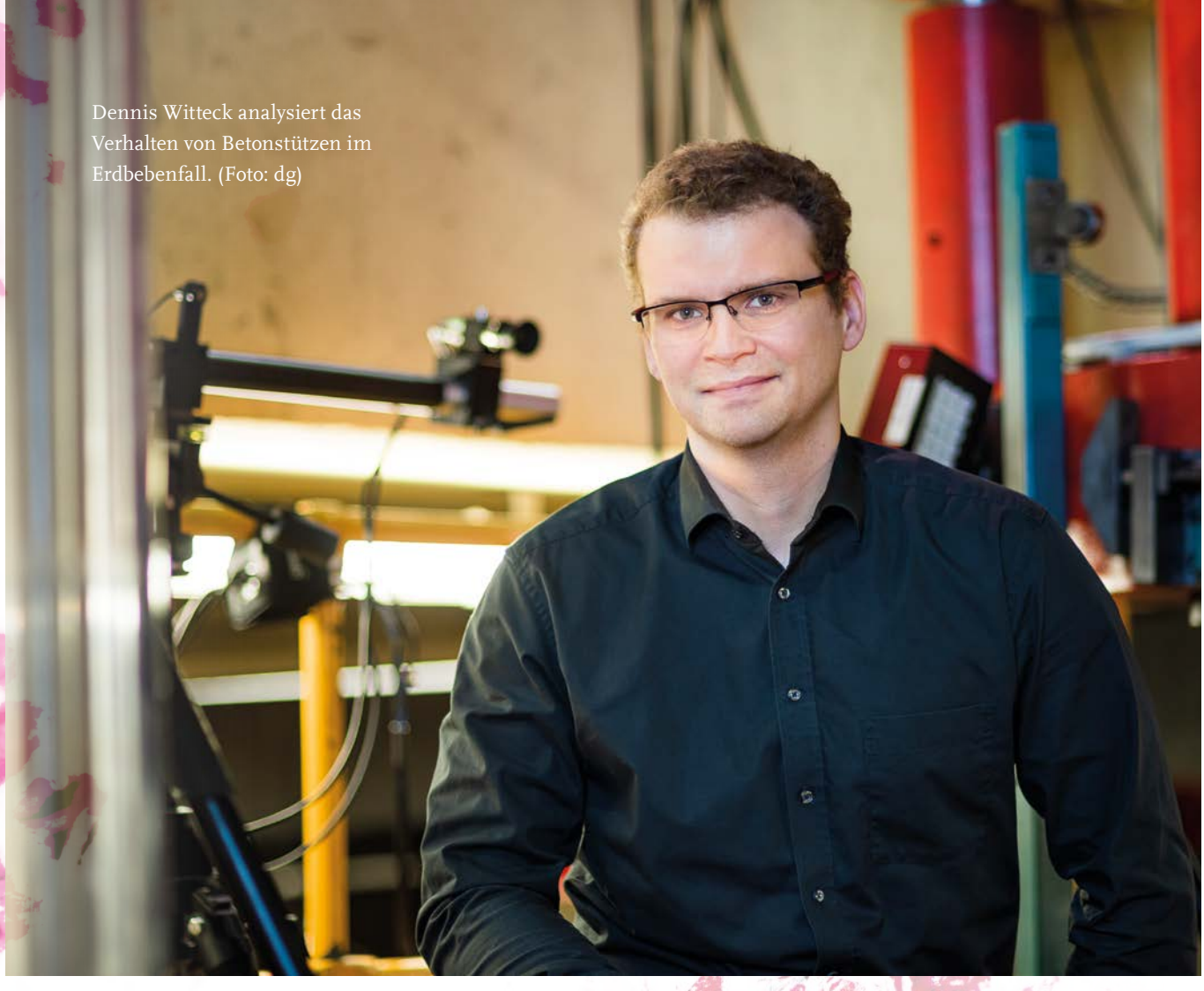
im Keller an", schildert Przemyslaw Schurgacz. „Anders hätten wir die über acht Meter langen Stützen der zweigeschossigen Ausführung nicht testen können."

Für die Prüfung dieser Stützen kam erstmals ein neues optisches Messsystem zum Einsatz. Es erfasst mittels mehrerer Kameras Verschiebungen der Stützen im dreidimensionalen Raum. Dafür wurde die gesamte Prüfmaschine mit Punktmarkern versehen. „Die dazugehörige Software vergleicht die Position der Marker auf jeder Aufnahme und kann so die geringsten Abweichungen und Bewegungen registrieren", erläutert Dennis Witteck.

Im eigentlichen Versuch nutzten die Forscher dann die Möglichkeiten der Prüfmaschine aus und ließen eine Druckkraft von bis zu 2.000 Tonnen auf die Stütze wirken. So war es weltweit zum ersten Mal möglich, solche Verbundstützen unter realistischen Bedingungen, wie sie in Hochhäusern und anderen Megastrukturen vorherrschen, zu testen. Die Stützen hielten der Belastung zunächst lange stand, bevor sie sich zur Seite durchbogen und so einer weiteren Lastaufnahme entzogen.

FÖRDERUNG

Die Arbeiten werden gefördert von der Forschungsvereinigung Stahlanwendung Fosta (P 1287/37/2017-IGF-NR. 19677 N) sowie von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke".



Dennis Witteck analysiert das Verhalten von Betonstützen im Erdbebenfall. (Foto: dg)



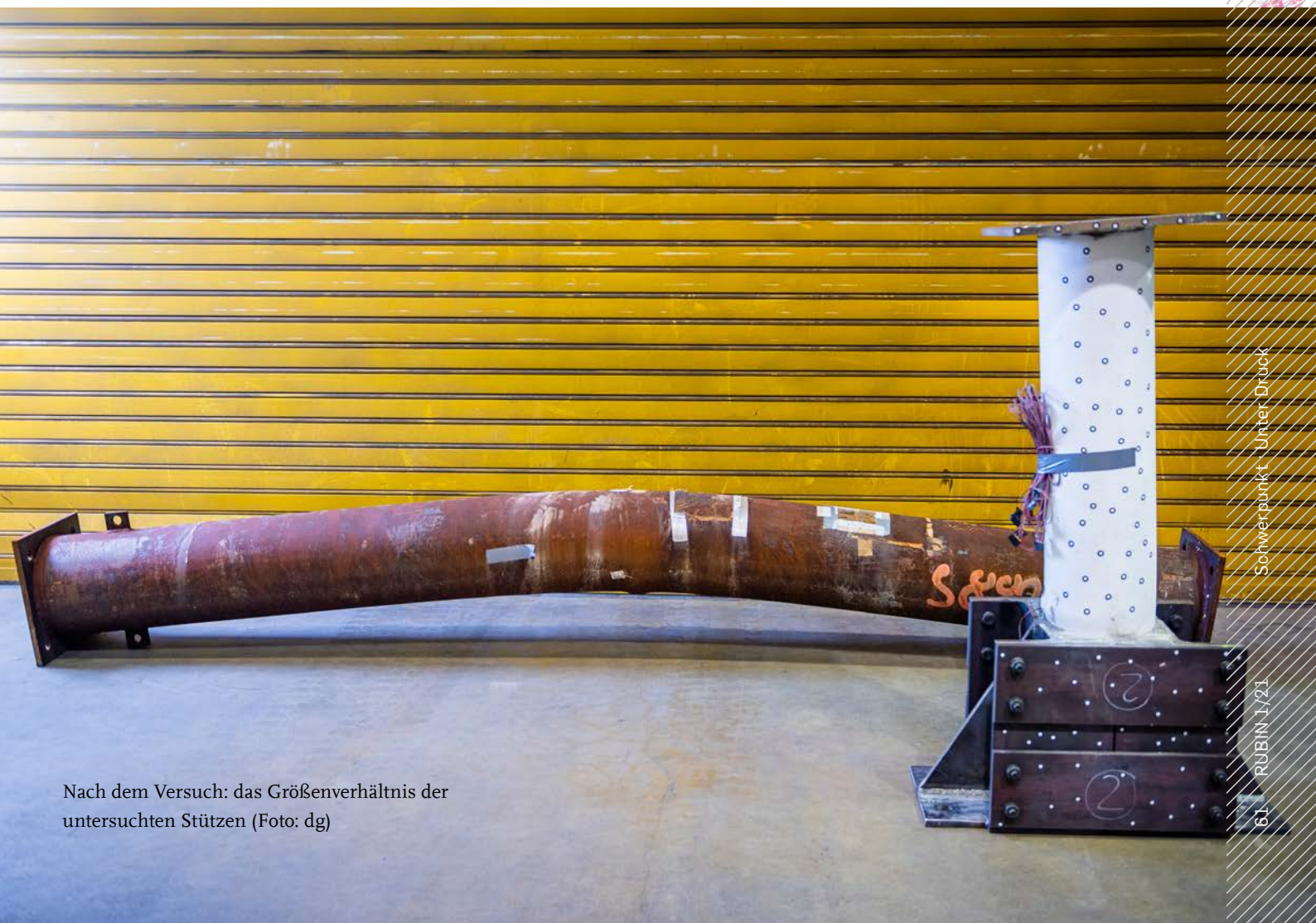
Przemyslaw Schurgacz untersucht Betonstützen aus innovativen Materialien. (Foto: dg)

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Verwendung von Hochleistungswerkstoffen vor allem für eingeschossige Verbundstützen großes Potenzial besitzt. „Der Einsatz der neuen Werkstoffe ist nur bis zu einer bestimmten Länge der Stütze zielführend und wirtschaftlich“, so Przemyslaw Schurgacz. „Allerdings ist für derartige Verbundstützen gerade die kürzere eingeschossige Ausführung das größte Anwendungsgebiet.“ Mit Blick auf die in europäischen und weltweiten Großstädten geplanten Hochhäuser ergebe sich für die nächsten Jahre ein großes Marktpotenzial für die innovativen Verbundstützen. Allein für London und Frankfurt sind in den kommenden Jahren schätzungsweise 250 beziehungsweise 200 Hochhäuser geplant.

Dennis Witteck konzentriert sich in seiner Arbeit nicht auf den Normalfall der Bemessung der Verbundstützen für Einwirkungen wie Wind und Schnee, sondern auf eine außergewöhnliche Gefahr: Ihn interessiert, wie sich diese Verbundkonstruktionen aus Hochleistungswerkstoffen bei Erdbeben bewähren. „Man hat bei einem schweren Erdbeben 1995 in Kobe in Japan festgestellt, dass konventionelle Verbundstützen, die aus einem mit Beton gefüllten Rohr bestehen, der Belastung bestens standgehalten haben. Sie besitzen sehr gute Dämpfungseigenschaften und Duktilität“, berichtet er. Nun ist die Frage, ob das auch für Konstruktionen aus höherfesten Stählen und Betonen gilt. Normalerweise bringt eine erhöhte Festigkeit auch eine größere Sprödigkeit mit sich, die im Erdbebenfall ungünstig ist. Bei einem Erdbeben muss ein Kollaps einzelner Stockwerke durch das Versagen von Stützen vermieden werden. Um Konzepte und Strategien dazu zu prüfen, entwickelte das RUB-Team einen eigenen Versuchsaufbau in der großen Prüfmaschine. Neben Druckkräften werden auf die Stütze horizontale Verschiebungen aufgebracht, die die Bewegungen eines Erdbebens nachahmen. Für die Messung wird in diesen Versuchen neben Punktmarkierungen die Oberfläche der Stütze gesprenkelt, um die Beanspruchungen des Bauteils sichtbar zu machen. Die Software des Kamerasystems erfasst so gestauchte Bereiche in rot und gedehnte in blau.

Die ersten Versuche und numerischen Simulationen lieferten vielversprechende Ergebnisse für den Einsatz dieser Verbundstützen in seismisch aktiven Regionen wie Südeuropa, Japan und Kalifornien. „Die innovativen Verbundstützen mit hochfesten Materialien sind eine wirtschaftlich sinnvolle Lösung für den Geschossbau, weil sie große Lasten abtragen, weil kleine Stützenquerschnitte möglich sind und hohe Brandschutzanforderungen erfüllt werden können“, fasst Dennis Witteck die Ergebnisse zusammen. Die Hauptversuchsserie läuft zurzeit. Mit den Ergebnissen rechnen die Ingenieure im Laufe des Jahres 2021.

md



Nach dem Versuch: das Größenverhältnis der untersuchten Stützen (Foto: dg)

Biodiversitätsforschung

TREFFPUNKT DER **BUCKELWALE**



Foto: Mathias König

Vor Island findet jedes Jahr ein besonderes Naturereignis statt – zuletzt auch unter den Augen von RUB-Forschern.

Buckelwale finden sich in nahezu allen Gegenden der Welt, von tropischen bis zu polaren Regionen. Im Lauf des Jahres können sie Tausende Kilometer weit wandern, um im Winter in wärmeren Regionen ihre Kälber zu gebären und sich zu paaren und im Sommer in kühleren Regionen reichhaltige Nahrungsgründe aufzusuchen. Die Details dieser Wanderrouten sind bislang wenig verstanden. Zwar sind einige Individuen markiert, sodass ihre Wege durch die Weltmeere beobachtet werden können. Aber das große Gesamtbild fehlt. Eine Frage ist auch, ob und wie sich die Wanderrouten durch den Klimawandel verschieben.

Ob sich mit genetischen Methoden neue Erkenntnisse über die Wanderbewegungen der Meeressäuger gewinnen lassen, hat ein Bochumer Team vom Lehrstuhl für Evolutionsökologie und Biodiversität der Tiere in Kooperation mit Kolleginnen und Kollegen aus Island untersucht. Marc-Alexander Gose interessierte sich im Rahmen seiner Masterarbeit vor allem für eine große Buckelwalzusammenkunft, die alljährlich von Mai bis Oktober vor der isländischen Küste stattfindet. Hunderte Tiere tummeln sich dann in den fischreichen Gewässern, um zu fressen.

Frühere Studien von anderen Forschungsgruppen waren bereits zu dem Schluss gekommen, dass die Buckelwale, die sich vor Island treffen, aus verschiedenen Paarungsgebieten kommen. In diesen Studien wurden die Tiere mithilfe von Fotos ihrer Fluken, die charakteristische Einkerbungen und ein individuelles Farbmuster haben, identifiziert. Vor Island fanden sich Individuen, die aus der Dominikanischen Republik, dem Gebiet um Puerto Rico, der südöstlichen Karibik oder den Kap Verden bekannt waren. „Wir wollten wissen,



Marc-Alexander Gose verbrachte einige Zeit auf Island – auf der Suche nach Buckelwalen. (Foto: Marc-Alexander Gose)

ob wir das Aufeinandertreffen mehrerer Populationen mit genetischen Analysen bestätigen können“, sagt Dr. Maximilian Schweinsberg, der als Postdoktorand am Lehrstuhl für Evolutionsökologie und Biodiversität der Tiere das Projekt betreut.

Zu diesem Zweck mussten die Forscher zunächst an Gewebeproben der Buckelwale kommen. Also reiste Marc-Alexander Gose, finanziert durch das Projekt inSTUDIES, nach Island und fuhr mit den Kollegen der University of Iceland mit dem Boot aufs Meer hinaus. Einige Zeit sprang auch der Bochumer Lehrstuhlleiter Prof. Dr. Ralph Tollrian als Bootsführer bei dem Projekt ein. Vor Island hielt die Gruppe Ausschau nach den typischen Wasserfontänen, die Wale ausstoßen, wenn sie an die Oberfläche kommen. War ein Buckel- ▸

> „NOCH WEISS MAN WENIG ÜBER DIE WANDER-ROUTEN DER BUCKELWALE.“
>
> Ralph Tollrian



Foto: Ralph Tollrian

wal in der Nähe, schossen die Forscher einen kleinen Pfeil mit einem Stanzer in seine Haut, der samt Gewebeprobe ins Wasser fiel und an der Oberfläche schwimmend eingesammelt werden konnte. „Der Wal bekommt davon nichts mit", schildert Marc-Alexander Gose seine Beobachtung.

Rund 100 Proben kamen so zusammen, je etwa einen Zentimeter breit und zwei bis drei Zentimeter lang. Sie bestanden zu einem großen Teil aus Blubber, der Fettschicht des Wals; darüber fand sich Hautgewebe, aus dem die Forscher später die DNA im Labor an der RUB extrahierten und mit verschiedenen Methoden auswerteten. Zum einen bestimmten sie das Geschlecht jedes Tieres. Außerdem analysierten sie mit zwei Verfahren die Verwandtschaftsverhältnisse der Buckelwale, von denen sie Proben genommen hatten, unter anderem mit der Mikrosatellitenanalyse. „Diese Methode wird auch für Vaterschaftstests verwendet", erklärt Marc-Alexander Gose. „Es gibt inzwischen zwar genetische Methoden mit deutlich höherer Auflösung, aber für unsere Zwecke funktioniert das Verfahren immer noch am besten."

Als Mikrosatelliten bezeichnet man DNA-Abschnitte, deren Sequenz sich mehrmals wiederholt, wobei die Anzahl der Wiederholungen von Individuum zu Individuum verschieden ist. Mikrosatelliten finden sich über das ganze Erbgut verstreut. Betrachtet man die Anzahl der Wiederholungen von verschiedenen Mikrosatelliten, ergibt sich für jedes Individuum ein charakteristisches Muster. Jeder Mikrosatellit liegt dabei in zwei Kopien vor – eine wurde vom Vater vererbt, eine von der Mutter. Durch den Vergleich der Mikrosatellitenprofile mehrerer Individuen lassen sich Verwandtschaftsbeziehungen rekonstruieren. Die Forscher fanden 18 nah verwandte Individuen-Paare. Das stützt eine Theorie, nach der von der Mutter beigebrachte Migrationsrouten das Wanderverhalten der Tiere langfristig beeinflussen.

In ihren Daten konnten die Forscher auf diese Weise drei Wal-Populationen vor Island unterscheiden und die Ergebnisse früherer Analysen somit genetisch bestätigen, zumindest teilweise. Auf Flukenfotos basierende Datensätze hatten nahegelegt, dass es sich sogar um vier Populationen handeln könnte. „Wir gehen davon aus, dass es zwischen zwei der westatlantischen Wal-Gruppen viel Austausch gibt, sodass sie sich genetisch nicht klar aufteilen", erklärt Maximilian Schweinsberg den Unterschied zwischen den Studien. Ralph Tollrian ergänzt: „Auf jeden Fall zeigen die Ergebnisse, dass die Gewässer vor Island ein besonderer Ort im Hinblick auf Wale sind – und damit auch besonders schützenswert."

Eigentlich hatte das Bochumer Team seine genetischen Analysen noch mit Flukenfotos und Informationen über Wanderbewegungen aus früheren Studien zusammenbringen wollen. „Aber leider haben wir, anders als zunächst gedacht, keinen Zugang zu diesen Informationen bekommen", erzählt Tollrian. „Unsere eigenen Analysen publizieren wir aktuell zusammen mit den isländischen Kollegen in einem Fachmagazin, sodass die Informationen auch einer breiten Öffentlichkeit und für weitere Forschungsarbeiten zur Verfügung stehen werden."

Neben den oben beschriebenen genetischen Analysen testete das Team auch eine zuvor nur bei Delfinen und Buckelwalen der Südhalbkugel angewandte Methode, mit der sich der Schwangerschaftsstatus der Tiere anhand von Hormonen in der Fettschicht bestimmen lässt – das klappte prinzipiell, auch wenn keine trächtigen Tiere in der Stichprobe zu finden waren.

Insgesamt ergab die Studie, dass sich anhand einer einzelnen Gewebeprobe viele Informationen über ein Individuum auslesen lassen: das Geschlecht, der Schwangerschaftsstatus der Weibchen, die Verwandtschaftsverhältnisse in der Gruppe und – wie andere Forschungsteams gezeigt hatten – auch, ob die Tiere schädlichen Substanzen ausgesetzt gewesen sind. „Noch weiß man wenig über die Wanderrouten der Buckelwale. Wir hoffen, dass unsere Untersuchung in naher Zukunft ein Puzzleteil sein kann, das zu einem großen Gesamtbild beiträgt. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die nördlichen Buckelwale in mehrere Populationen aufgeteilt sind, die sich genetisch unterscheiden. Um die genetische Diversität zu erhalten, muss jede einzelne Population geschützt werden", resümiert Ralph Tollrian.

jwe



Mit einem solchen Pfeil wurden die Proben aus der Walhaut genommen. (Foto: Marc-Alexander Gose)



Im Gespräch

„EINE DER TOLLSTEN SACHEN, DIE MAN ERLEBEN KANN“

Biologen der RUB bieten jedes Jahr im November eine Exkursion nach Nordnorwegen an, bei der Wale beobachtet werden können. Dass es dazu kam, ist einem zufälligen Zusammentreffen in einer Kneipe zu verdanken.

Vor der Küste Nordnorwegens treffen sich im November Hunderte von Buckelwalen zum Fressen – als Beobachter mit dabei sind seit einigen Jahren mehrere Forscher des Lehrstuhls für Evolutionsökologie und Biodiversität der Tiere der RUB. Mit ihrer jährlich angebotenen Exkursion ermöglichen sie Studierenden besondere Einblicke in die Natur. Exkursionsbegleiter Dr. Maximilian Schweinsberg erinnert sich an viele besondere Momente dieser Reisen.

Herr Dr. Schweinsberg, was ist die Idee hinter der Exkursion nach Nordnorwegen?

Uns ist es wichtig, dass die Studierenden Ökosysteme und die Anpassungen der Organismen erfahren. In Nordnorwegen kann man vom Boot aus vielfältige Verhaltensweisen von sonst nur schwer zu beobachtenden Tieren live miterleben und viele Informationen über dieses spannende Ökosystem direkt an die Studierenden vermitteln. Dort treffen sich nicht nur Hunderte von Buckelwalen zum Fressen, sondern auch Orcas, die besonders interessant zu beobachten sind, weil sie spezielle Jagdtechniken entwickelt haben. Sie treiben die Heringe zu ballförmigen Ansammlungen zusammen und stoßen hinein. Teilweise machen sich die Buckelwale das auch zunutze, stoßen durch die Fischansammlung durch und fressen sie den Orcas förmlich weg. Aber umgekehrt können die Orcas auch von den Jagdtaktiken der Buckelwale profitieren. Das ist eine der tollsten Sachen, die man erleben kann. Außerdem ist es auch eine wirklich wilde und raue Landschaft.

Wie kam es dazu, dass Sie Nordnorwegen als Reiseziel entdeckt haben?

Ich war mal im Sommer in Norwegen und bin in einer Kneipe zufällig mit einem Angler ins Gespräch gekommen, der mir ein Video gezeigt hat. Er hat sich nur für die Heringe und Heilbutte interessiert, aber ich habe gesehen, dass in dem Video überall Wale zu sehen waren. Ich hatte gar nicht gewusst, dass die Buckelwale in dieser Region so nah an die Küste kommen! Sie waren dort längere Zeit nicht gewesen, aber sind vermutlich wiedergekommen, weil das Nahrungsangebot dort zeitweilig wieder sehr gut war.

Eine Reise in den hohen Norden bringt sicher logistische Herausforderungen mit sich.

Ja, das stimmt. Um die Logistik kümmert sich zum Großteil Sebastian Striewski, ein ehemaliger wissenschaftlicher Mitarbeiter unseres Lehrstuhls, der ein eigenes Reiseunternehmen betrieben hat. Wir hatten zusätzlich das große Glück, dass es ein Angelcamp auf einer vorgelagerten Insel von Tromsö gibt, das im November, wenn die Buckelwale kommen, kein Business mehr hat. Mit denen haben wir kooperiert und konnten so quasi mitten in der Natur wohnen.

Allerdings mussten wir auch schon umplanen, weil die Fische sich mittlerweile – möglicherweise wegen des Klimawandels – weiter nördlich aufhalten, sodass auch die Wale zwei Fjorde weiter in den Norden gezogen sind. Nochmal 90 Kilometer weiter nördlich zu kommen war für die Fische und Wale kein Problem, für die Exkursion allerdings eine Herausforderung.

Vermutlich kann auf solchen Reisen nicht immer alles nach Plan laufen.

Es passieren natürlich manchmal besondere Dinge, und wir dürfen kein Risiko eingehen. Man muss wissen, was man tut, und jeden Tag abwägen, ob das Wetter es zulässt, dass man rausfahren kann oder auch ob man früher zurückfahren muss. Im Zweifelsfall bleibt man besser im Hafen. Wir hatten natürlich auch schon Tage, an denen wir rausgefahren sind, aber über Stunden keine Wale gefunden haben. Dann kann man aber Vögel, die Landschaft und das Meer beobachten. Abends entschädigt uns manchmal auch das Polarlicht.

Welche Momente sind Ihnen besonders in Erinnerung geblieben?

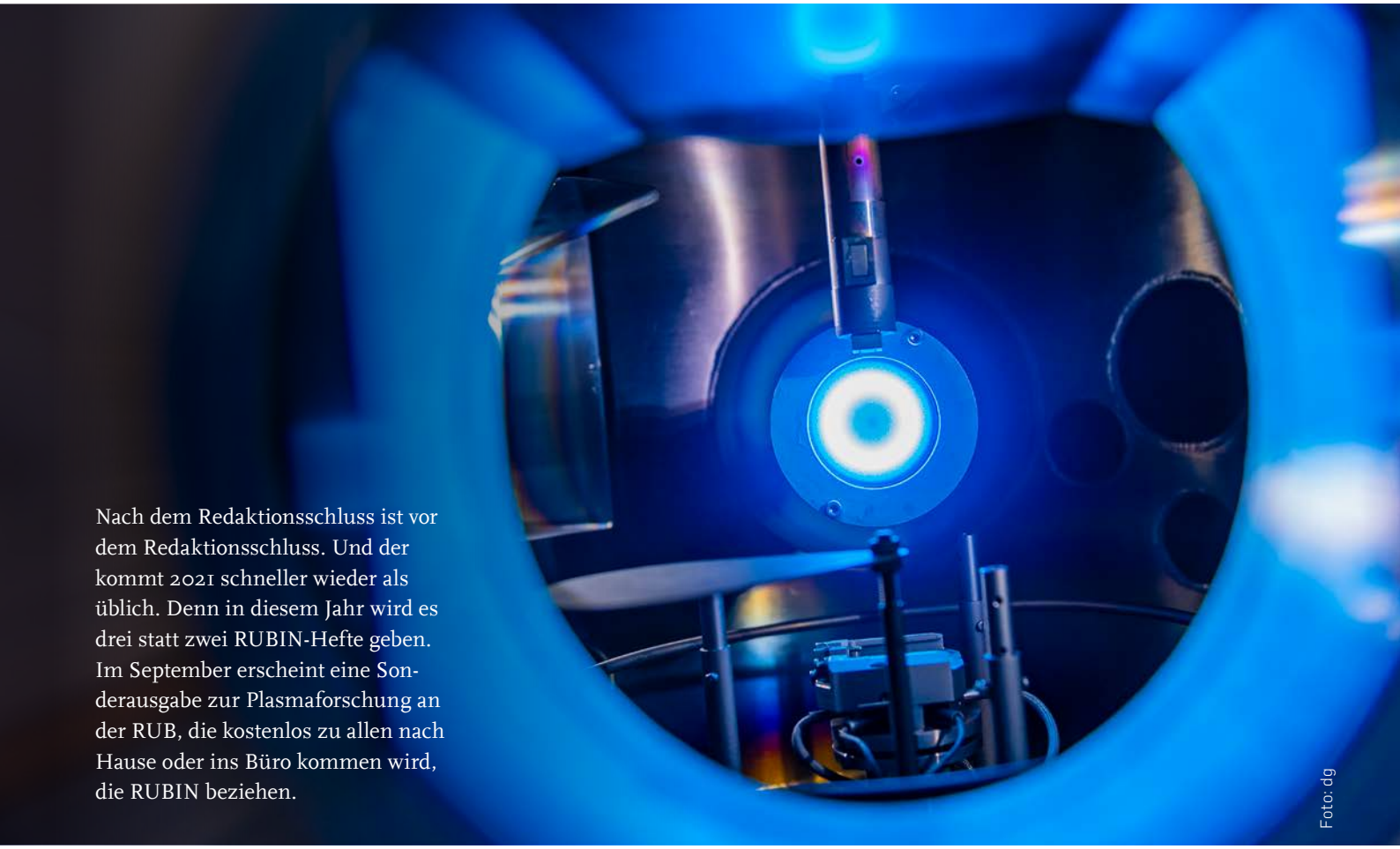
Wir haben einmal einen Buckelwal gefunden, der sich in einem Fischernetz verfangen hatte. Wir mussten einige Studierende davon abhalten, in das kalte Wasser zu springen, um ihn zu befreien. Wir haben die Küstenwache informiert und sind dabei geblieben, bis sie ihn freigeschnitten hatten. Das war sehr beeindruckend und dramatisch. Spannend war es auch, als die BBC parallel zu unserer Exkursion vor Ort war und für die Dokumentation Blue Planet II gedreht hat; es war sehr interessant zu sehen, wie die Kameraleute unter den teilweise extremen Bedingungen gearbeitet haben und auch unter was für einem Leistungsdruck sie standen.

Wie geht es mit den Exkursionen weiter?

Was in Zukunft daraus wird, wissen wir nicht. Die Coronasituation hat die Planungen unserer verschiedenen Exkursionen derzeit unmöglich gemacht. Natürlich würden wir die Exkursionen aber auch in Zukunft gern weiter anbieten, dann wäre ich auch wieder dabei!

Text: jwe, Foto: dg

REDAKTIONSSCHLUSS



Nach dem Redaktionsschluss ist vor dem Redaktionsschluss. Und der kommt 2021 schneller wieder als üblich. Denn in diesem Jahr wird es drei statt zwei RUBIN-Hefte geben. Im September erscheint eine Sonderausgabe zur Plasmaforschung an der RUB, die kostenlos zu allen nach Hause oder ins Büro kommen wird, die RUBIN beziehen.

Foto: dg

IMPRESSUM

HERAUSGEBER: Rektorat der Ruhr-Universität Bochum in Verbindung mit dem Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum (Hubert Hundt, v.i.S.d.P.)

WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT: Prof. Dr. Gabriele Bellenberg (Philosophie und Erziehungswissenschaften), Prof. Dr. Astrid Deuber-Mankowsky (Philologie), Prof. Dr. Constantin Goschler (Geschichtswissenschaften), Prof. Dr. Markus Kaltenborn (Jura), Prof. Dr. Achim von Keudell (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Dorothea Kolossa (Elektrotechnik/Informationstechnik), Prof. Dr. Denise Manahan-Vaughan (Medizin), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Andreas Ostendorf (Prorektor für Forschung, Transfer und wissenschaftlichen Nachwuchs), Prof. Dr. Martin Tegenthoff (Medizin), Prof. Dr. Martin Werding (Sozialwissenschaft), Prof. Dr. Marc Wichern (Bau- und Umweltingenieurwissenschaft), Prof. Dr. Peter Wick (Evangelische Theologie)

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

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

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

COVER: Roberto Schirdewahn (Fotografie), Agentur der RUB (Collage)

BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS: Teaserfotos für die Seiten 12 und 32: Roberto Schirdewahn; Teaserfotos für die Seiten 27, 52, und 58: Damian Gorczany; Teaserfoto für Seite 62: Mathias König

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

DRUCK: Lensing Druck GmbH & Co. KG, Feldbachacker 16, 44149 Dortmund, Tel.: 0231/90592000, info@lensingdruck.de, www.lensingdruck.de

AUFLAGE: 4.500

BEZUG: RUBIN erscheint zweimal jährlich und ist erhältlich im Dezernat Hochschulkommunikation der Ruhr-Universität Bochum. Das Heft kann kostenlos abonniert werden unter news.rub.de/rubin/abo. Das Abonnement kann per E-Mail an rubin@rub.de gekündigt werden.

ISSN: 0942-6639

Nachdruck bei Quellenangabe und Zusenden von Belegexemplaren

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

RUB

SCHWUNG-GEBER GESUCHT!

JETZT JUNGE TALENTE FÖRDERN

Unterstützen Sie das Deutschlandstipendium jetzt mit Ihrer Spende und ermöglichen Sie damit jungen Talenten wertvolle Bildungschancen.

Sprechen Sie uns an: **deutschlandstipendium@rub.de** oder **0234 32 22055**
www.rub.de/deutschlandstipendium-foerdern

SPENDENKONTO:
Ruhr-Universität Bochum
Sparkasse Bochum **IBAN: DE53 4305 0001 0001 4868 28**, BIC: WELADED1BOC
Verwendungszweck: **Deutschlandstipendium + Ihre Adresse**



10 JAHRE Deutschland STIPENDIUM

SOLIDARITÄT IN DER KRISE ZEIGEN!

Die Pandemie fordert uns als Gesellschaft der Freunde der Ruhr-Universität Bochum (gdf) besonders heraus. Gerade Studierende und jüngere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler benötigen in dieser schweren Zeit dringend Hilfe und Unterstützung bei ihren Projekten.

DAHER HAT DIE GDF EINEN EIGENEN CORONA-FONDS NEU AUFGELEGT.
TRETEN SIE UNSEREM FONDS BEI –
ZEIGEN SIE SOLIDARITÄT IN DER KRISE!

Sie können unseren Corona-Fonds durch ihre einmalige Spende unterstützen, oder auch als neues Mitglied in der gdf mitwirken. Als Mitglied leisten Sie sogar dauerhaft Ihren Beitrag zur Förderung von Forschung, Lehre und Studium in Bochum.

Die gdf unterstützt seit mehr als 55 Jahren die Ruhr-Universität Bochum in Wissenschaft, Studium und bei besonderen Projekten.
Sie engagiert sich zudem für eine stärkere Vernetzung der Bürgerinnen und Bürger Bochums mit ihrer Universität.

WEITERE INFORMATIONEN:
https://www.freunde-rub.de/Coronafonds



MÖCHTEN SIE DIREKT HELFEN? Dann überweisen Sie bitte Ihre Spende auf das Konto:
IBAN DE21 4305 0001 0001 3065 96 | Sparkasse Bochum | Stichwort „Coronafonds“

GESELLSCHAFT
DER FREUNDE
RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM