

RUBIN

WISSENSCHAFTSMAGAZIN



LICHT & LEUCHTEN

Heiß und stürmisch: Plasma-Tornados im Labor

Glanzvoll und gülden: Metallschmuck in Mittelamerika

Zu viel und schädlich: Lichtverschmutzung

WIR SAGEN DANKE!

WISSEN FÖRDERN – TALENTE STÄRKEN – ZUKUNFT GESTALTEN!

Das Deutschlandstipendium an der Ruhr-Universität Bochum (RUB) wird durch zahlreiche Spenderinnen und Spender möglich. Sie tragen dazu bei, dass leistungsstarke und gesellschaftlich engagierte Studierende ihr Studium erfolgreich absolvieren und Verantwortung übernehmen können. Wir danken allen Unterstützerinnen und Unterstützern – und laden neue Partner ein, sich dieser starken Gemeinschaft anzuschließen.

WIR DANKEN:

Altner-Combecher-Kohler-Stiftung ■ Arbeitgeberverband Ruhr-Lippe e.V. ■ BASF SE ■ BDO AG Wirtschaftsprüfungsgesellschaft ■ BERDING BETON GmbH ■ BIB - Bank im Bistum Essen eG ■ Bildungsfonds der Ruhr-Universität Bochum ■ BOWI - Vereinigung Bochumer Wirtschaftswissenschaftler e.V. ■ BRL Insolvenz GbR ■ Dr. Hans-Paul Bürkner ■ bvs-NRW GmbH ■ Cloudyrion GmbH ■ Comma Soft AG ■ cy cryptovision GmbH ■ Dr. Jost Henkel Stiftung ■ Dr. Spang Ingenieurgesellschaft für Bauwesen, Geologie und Umwelttechnik mbH ■ E.ON Accounting Solutions GmbH ■ Beatrix Eickhoff und Dr. Andreas Eickhoff ■ EMU Institut für Energie-System, Material- und Umwelttechnik e.V. ■ Sabine Engel und Dr. Klaus Engel ■ Dirk W. Erhöfer ■ Forschungsgesellschaft KIB Konstruktiver Ingenieurbau e.V. ■ Prof. Dr. Kornelia Freitag ■ G DATA Cyber Defense AG ■ Gerber Architekten GmbH ■ Gesellschaft der Freunde der RUB ■ Gesellschaft zur Förderung der Katholisch-Theologischen Fakultät der RUB e.V. ■ GOLDBECK West GmbH ■ Hans-Jürgen Schulz-Stiftung ■ Hans-Lothar und Ursula Brandt-Stiftung ■ Martina Havenith und Albert Newen ■ Henkel AG & Co. KG aA ■ Horst Görtz Stiftung ■ Ingenieursozietät Schürmann - Kindmann und Partner GbR ■ Dr. Otfried Joop ■ Katholisches Klinikum Bochum gGmbH ■ Prof. em. Dr.-Ing. Rolf Kindmann ■ Kluge Sanierung GmbH ■ Dr. Beate Konze-Thomas ■ KROHNE Messtechnik GmbH ■ Dr. Franz Kunisch ■ Lions Hilfswerk Bochum e.V. ■ Lions Hilfswerk Bochum-Ruhr e.V. ■ Lions Hilfswerk Wattenscheid e.V. ■ Luther Rechtsanwaltsgesellschaft mbH ■ Dorothee Madsen ■ Medion AG ■ Prof. Dr. Peter Mommer ■ Hassan Nawaz ■ Frank Neuroth ■ NRW.BANK ■ Oerlikon Barmag ZN der Oerlikon Textile GmbH & Co. KG ■ Prof. Dr. Dr. h. c. Martin Paul ■ phi-Consulting GmbH ■ Gudrun Pluta und Dr. Olaf Pluta ■ RAG-Stiftung ■ Rivera-Stiftung ■ Robert Bosch GmbH ■ Rotary Club Bochum ■ Rotary-Club Bochum-Hellweg ■ Rotary-Club Bochum-Rechen ■ rubitec GmbH ■ RUB Stiftung - Stiftung der Ruhr-Universität Bochum ■ Rudolf Chaudoire-Stiftung ■ Ruhrverband ■ Ruth und Gert Massenbergt Stiftung ■ Schneiders & Behrendt PartmbB, Rechts- und Patentanwälte ■ Michael Schüren ■ secida AG ■ SECUIINFRA GmbH ■ secunet Security Networks AG ■ Sensolytics GmbH ■ Sigi und Hans Meder Stiftung ■ SOCOTEC Ingenieure AG ■ Sonnabend Ingenieurbüro Statik und Baukonstruktion ■ Sparkasse Bochum ■ Stadtwerke Bochum Holding GmbH ■ Stiftung Kinderzentrum Ruhrgebiet ■ Stephen Tschöpe ■ VFR- Verein zur Förderung der Rechtswissenschaft e.V. ■ Vivawest Wohnen GmbH ■ Volkswagen Infotainment GmbH ■ Vonovia SE ■ Vorwerk Elektrowerke GmbH & Co. KG ■ Prof. Dr. Gordon Wassermann ■ Prof. Dr. Elmar Weiler ■ Westenergie AG ■ Wilo-Foundation ■ Dr. Markus Wischemeyer ■ Ulf Wollenweber ■ WSW Wuppertaler Stadtwerke GmbH sowie zahlreichen weiteren Personen und Institutionen.

MITMACHEN UND ZUKUNFT GESTALTEN!

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

SPENDENKONTO:

Ruhr-Universität Bochum
 Sparkasse Bochum IBAN: DE19 4305 0001 0001 2200 11, BIC: WELADED1BOC
 Verwendungszweck: Deutschlandstipendium + Ihre Adresse

Ein Talent fördern – ein Jahr
1.800 €
 pro Stipendium

Einzelspende
ab 75 €
 für den Bildungsfonds

**CHANCEN SCHENKEN,
 ZUKUNFT SPENDEN**

Deutschland STIPENDIUM
 Wir sind dabei



AUS DER REDAKTION

Liebe Leserin, lieber Leser,

„elektrisches Licht macht uns krank“, habe ich in einem Gespräch für dieses Heft gelernt: Wir sind zu lange auf, essen zu spät, manövrieren uns in einen Jetlag – kurz: Wir leben ungesund. „Die Menschen sind mit Solarstrom einfach glücklicher“, habe ich in einem anderen Gespräch für dieses Heft gehört: Sie können abends ihre Läden länger offenhalten, mehr Einkommen erwirtschaften, mehr für die Schule lernen. Darüber hinaus verbreitet elektrisches Licht weihnachtliche Stimmung und hebt die Laune in der finsternen Jahreszeit. Auf der anderen Seite wiederum verstellt es uns den Blick in die Sterne. Wie vieles andere auch, so hat elektrische Beleuchtung also ihre Vor- und Nachteile – oder sollte ich sagen: ihre Licht- und Schattenseiten? Beim Schreiben der Beiträge für diese Ausgabe haben wir in der Redaktion oft gestaunt, was Licht noch so alles kann: Chemische Reaktionen umweltfreundlich antreiben, Sehfehler ohne Schnitt korrigieren, mit Kohlenstoffröhrchen als Sensor funktionieren und vieles mehr. Wir laden Sie ein: Staunen Sie mit!

Viel Freude beim Lesen!

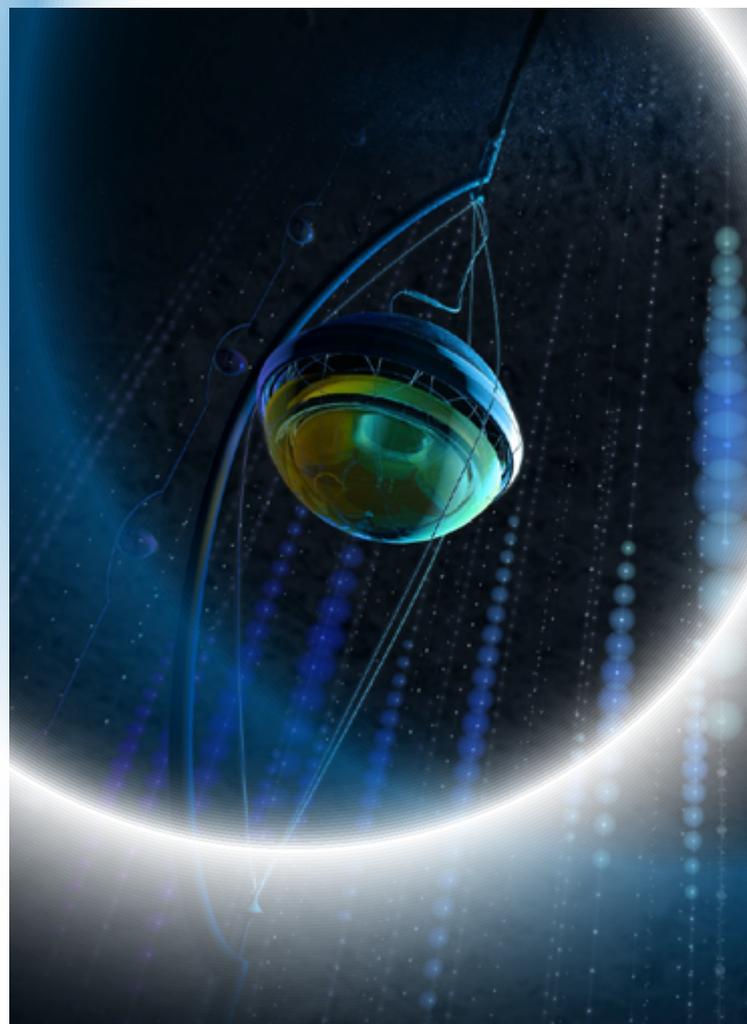
*Meike Drießen
für das Redaktionsteam*

RUBIN IM NETZ

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

INHALT

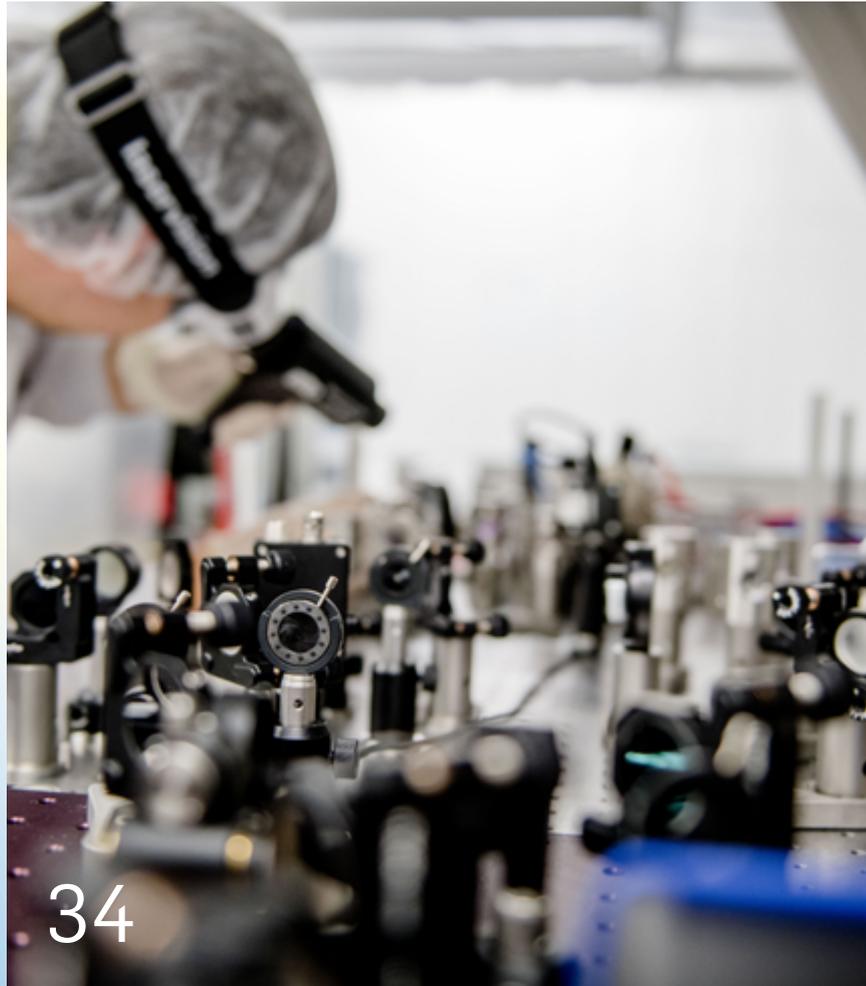
- 03 **Aus der Redaktion**
- 06 **Forschung in Bildern**
- 12 **Wissenshäppchen**
- 14 *Geowissenschaft · Im Gespräch*
Zu viel Licht
- 18 *Biochemie*
Die Regenbogenfarben des Kohlenstoffs
- 22 *Psychologie*
Tablet vor dem Einschlafen ist gar nicht so schädlich wie gedacht
- 26 *Augenheilkunde*
Brille adé
- 30 *Religionswissenschaft*
Aufgelöst in Licht
- 34 *Elektrotechnik · Im Gespräch*
Licht wie kein anderes
- 38 *Physik*
Im Auge des Plasma-Sturms
- 42 *Entwicklungsforschung*
„Die Menschen sind einfach glücklicher“
- 46 *Archäologie*
Zwischen Glanz und Gier



14

” UNSER
GARTEN IST
EIN LEBENS-
RAUM FÜR
ANDERE, DIE
MAN NICHT
STÖREN
SOLLTE. “

Christopher Kyba



34

- 50 *Medizin*
Geheimnisse zwischen Licht und Leber
- 55 *Medizin · Im Gespräch*
Leben mit der inneren Uhr
- 56 *Fotochemie*
Geschüttelt statt gerührt
- 60 *Astrophysik*
Absender verzweifelt gesucht
- 66 **Redaktionsschluss · Impressum**

60

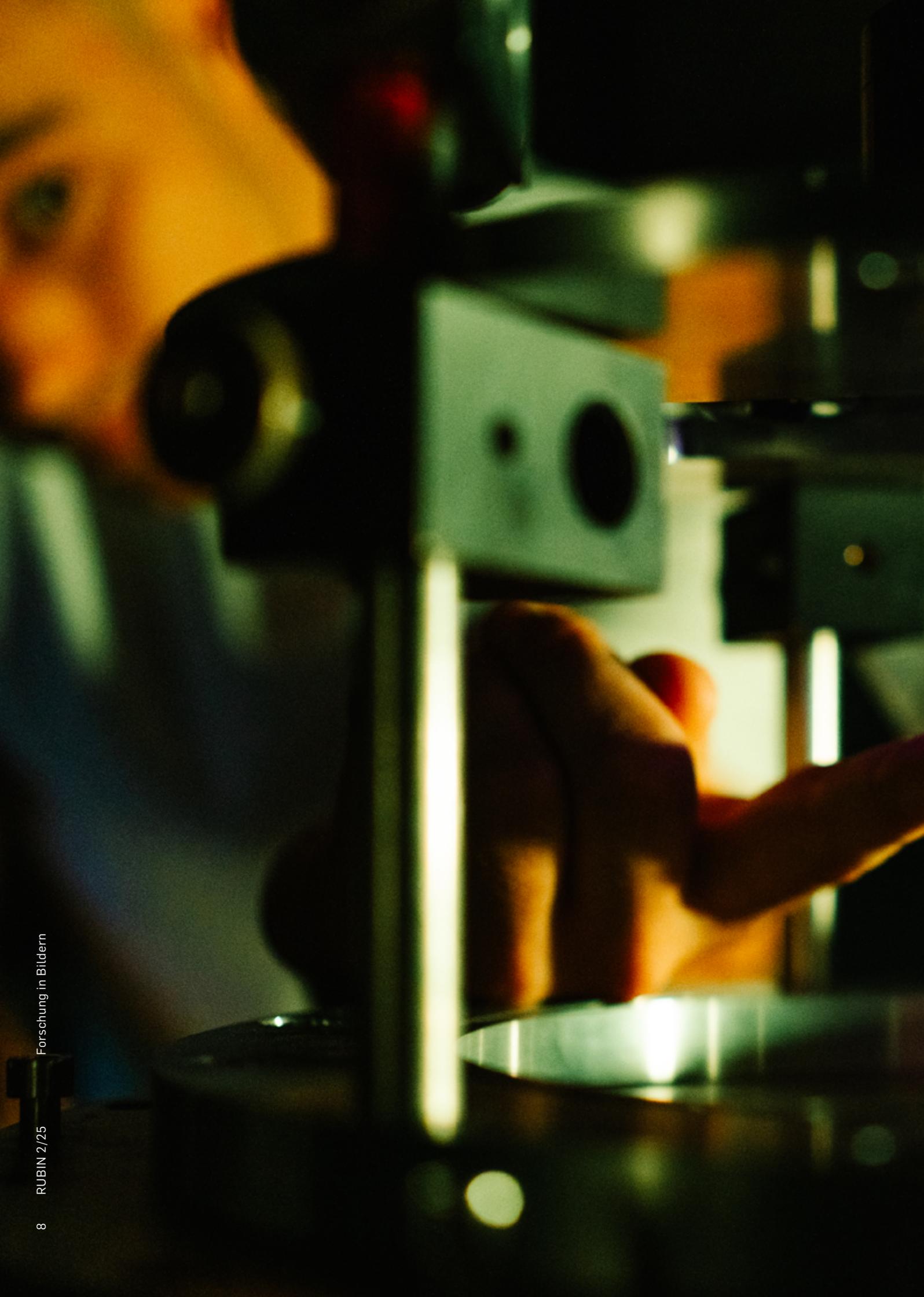


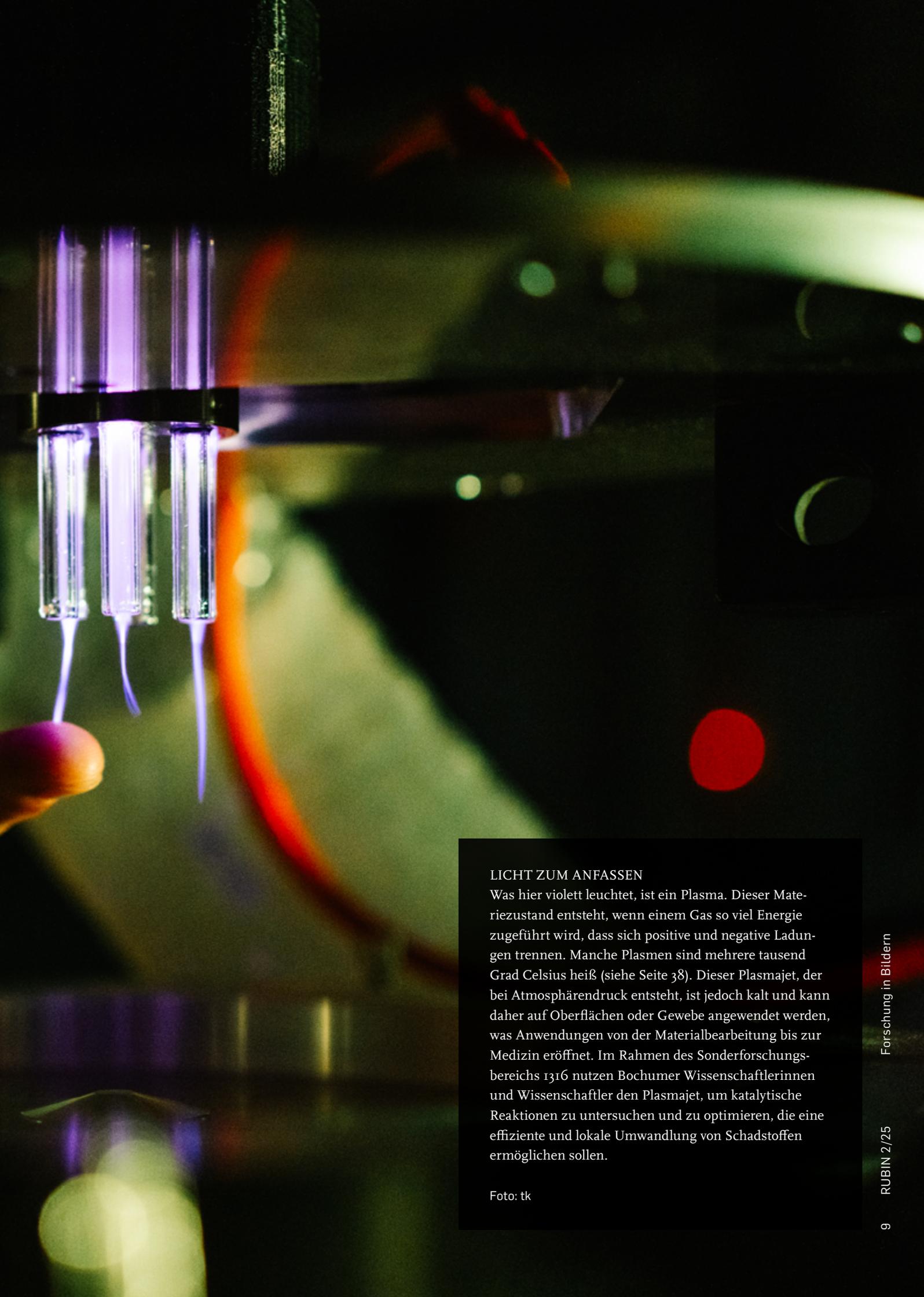


STERNE UNTER DAUER-BEOBACHTUNG

Das Vera C. Rubin-Observatorium ist quasi die größte Digitalkamera der Welt. Im Juni 2025 wurden die ersten damit aufgenommenen Himmelsfotos veröffentlicht – eines ist hier zu sehen. Es ist eine Kombination aus 678 Einzelbildern, die in sieben Stunden Beobachtungszeit aufgenommen wurden. Eine solche Kombination vieler Bilder macht andernfalls schwache oder unsichtbare Details erkennbar, wie die Gas- und Staubwolken, aus denen der hier gezeigte Trifidnebel und der Lagunennebel bestehen, die mehrere tausend Lichtjahre von der Erde entfernt sind. Das Besondere: Die Bilder decken nicht nur einen großen Bereich des Himmels ab, sondern haben auch enorme Tiefe. „Wir stoßen damit in neue Dimensionen der optischen Beobachtung des Himmels vor“, sagt der Bochumer Forscher Prof. Dr. Hendrik Hildebrandt, der in ein Himmelsdurchmusterungs-Projekt am Observatorium involviert ist. Es wird zehn Jahre lang alle paar Nächte den gesamten von Chile aus sichtbaren Nachthimmel aufnehmen.

Aufnahme: NSF-DOE Vera C. Rubin Observatorium

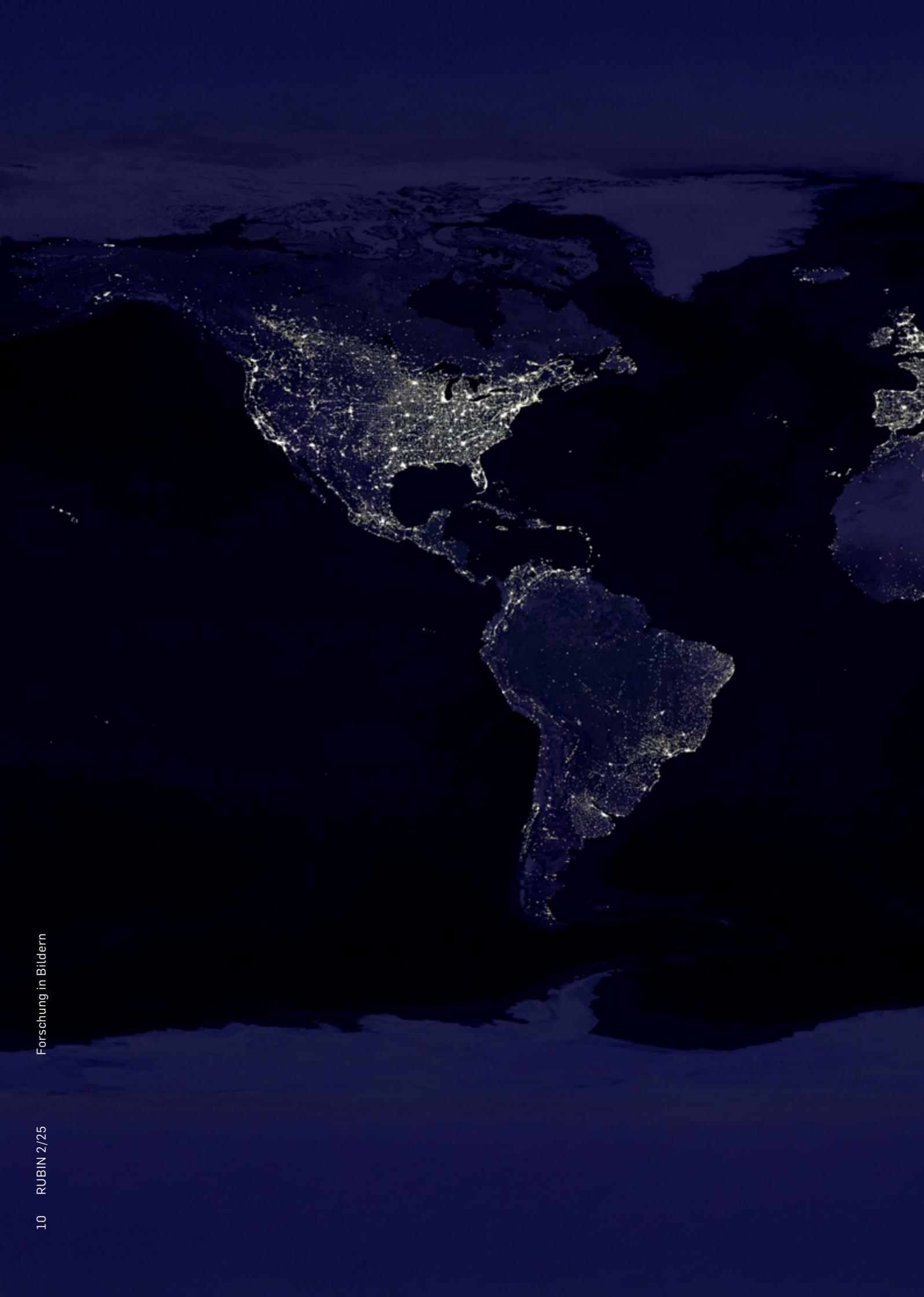




LICHT ZUM ANFASSEN

Was hier violett leuchtet, ist ein Plasma. Dieser Materiezustand entsteht, wenn einem Gas so viel Energie zugeführt wird, dass sich positive und negative Ladungen trennen. Manche Plasmen sind mehrere tausend Grad Celsius heiß (siehe Seite 38). Dieser Plasmajet, der bei Atmosphärendruck entsteht, ist jedoch kalt und kann daher auf Oberflächen oder Gewebe angewendet werden, was Anwendungen von der Materialbearbeitung bis zur Medizin eröffnet. Im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 1316 nutzen Bochumer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler den Plasmajet, um katalytische Reaktionen zu untersuchen und zu optimieren, die eine effiziente und lokale Umwandlung von Schadstoffen ermöglichen sollen.

Foto: tk





WELTWEITES BILD

Diese Nachtkarte der Erde wurde anhand von Satellitenbildern rekonstruiert, die Mitte der 1990er-Jahre aufgenommen wurden. Inzwischen dürfte die Intensität der nächtlichen Beleuchtung noch zugenommen haben. Satellitenaufnahmen wie diese, die die Weltraumorganisationen NASA und ESA zur Verfügung stellen, nutzt Prof. Dr. Christopher Kyba für seine Forschung zur Lichtverschmutzung. Was man daran ablesen kann und welche Folgen das künstliche Licht hat, erklärt er im Interview ab Seite 14.

Aufnahme: Craig Mayhew and Robert Simmon/NASA GSFC, Wikimedia Commons

Wissenshäppchen

WARUM LEUCHTEN STERNE?

*Unsere Sonne ist ungefähr
4,5 Milliarden Jahre alt – und sie
leuchtet seitdem ununterbrochen.
Woher nehmen sie und die anderen
Sterne im Universum eigentlich die
Energie dafür?*



Sterne kennen wir alle: Sie erscheinen uns als Lichtpunkte, die in einer klaren Nacht am Himmel leuchten. Doch was steckt hinter diesem Leuchten – was sind Sterne eigentlich? „Sterne sind ferne Sonnen, vergleichbar mit unserer eigenen, die umgekehrt ein recht normaler Stern ist“, erklärt Susanne Hüttemeister, Direktorin des Planetariums Bochum. Sterne sind also riesige, leuchtende Gaskugeln, die vor allem aus den Elementen Wasserstoff und Helium bestehen.

„Wir wissen, dass unsere Sonne etwa 4,5 Milliarden Jahre alt ist. Die meisten Sterne haben ein ähnliches Alter. Das bedeutet, dass sie über sehr lange Zeiträume mit etwa konstanter Helligkeit leuchten müssen. Jede Art von chemischem Feuer ist daher als Energiequelle ausgeschlossen – der Brennstoff wäre viel zu schnell verbraucht“, so Susanne Hüttemeis-

ter. Kommt vielleicht die Energie infrage, die frei wird, wenn sich ein Stern aus einer Gaswolke bildet, die Wolke also kollabiert? „Nein, denn auch diese Zeit ist mit einigen Millionen Jahren deutlich zu kurz, um die Sterne auf Dauer leuchten zu lassen“, erklärt Susanne Hüttemeister.

Trotzdem bringt uns der Blick auf die Entstehung der Sterne aus kollabierenden Gaswolken auf die richtige Spur. „Wenn ein Stern sich bildet, wird sein Inneres immer heißer und dichter. Wenn die Temperatur etwa zehn Millionen Grad Celsius erreicht hat, können je vier Atomkerne des Wasserstoffs im Zentralbereich des Sterns zu einem Heliumkern verschmelzen. Der Heliumkern ist dabei etwas leichter als die Wasserstoffkerne. Die Differenz wird in diesem Prozess der Kernfusion gemäß Einsteins berühmter Formel $E = mc^2$ (E: Energie, m: Masse, c: Lichtgeschwindigkeit) direkt in Ener-



IM BEOBACHTBAREN UNIVERSUM GIBT ES ETWA 100 TRILLIARDEN STERNE. WÜRDEN MAN DIE SANDKÖRNER ALLER WÜSTEN DER ERDE ZUSAMMENZÄHLEN, WÄRE DIE SUMME GESCHÄTZT UM FAKTOR 1.000 GERINGER.

gie umgesetzt. Obwohl dieser Massendefekt nur 0,7 Prozent beträgt, reicht die Energie aus, um einen Stern wie die Sonne etwa zehn Milliarden Jahre leuchten zu lassen“, so Hüttemeister. Die kurze Antwort auf unsere Frage ist also: Sterne leuchten, weil in ihrem Inneren Kernfusion stattfindet.

Allerdings muss die innen erzeugte Energie den Stern verlassen und seine Oberfläche erreichen, damit wir ein leuchtendes Objekt sehen. „Bei der Fusion entsteht sehr energiereiche Gammastrahlung. Sie wird auf dem Weg nach außen immer wieder absorbiert und neu emittiert, bis sie schließlich als sichtbares Licht an der Oberfläche ankommt. Das kann im Fall der Sonne etwa 100.000 Jahre dauern.

Sternoberflächen sind immer noch heiß, ihre Temperatur liegt aber mit etwa 4.000 bis über 10.000 Grad weit unter der Temperatur im Zentrum. „Bei der Sonne sind es etwa 5.500 Grad Celsius“, so Hüttemeister. In diesem Temperaturbereich strahlt ein Körper den größten Teil seines Lichts bei Wellenlängen ab, die unsere Augen wahrnehmen können. So können wir Sterne dann auch tatsächlich sehen. Kühle Sterne erscheinen uns rötlich, sehr heiße Sterne blau – und aus dem Sonnenlicht macht unser Gehirn ein neutrales Weiß.

„Interessant ist auch, dass in früheren Sternengenerationen auch die Stoffe geboren wurden, aus denen wir Menschen bestehen“, so Susanne Hüttemeister. „Ganz buchstäblich sind wir also Sternenstaub.“

rr

Im Gespräch

ZU VIEL LICHT

Wir nutzen viel mehr Licht, als wir bräuchten, meint Christopher Kyba. Damit stören wir uns gegenseitig und andere Lebewesen. Die gute Nachricht: Das lässt sich leicht vermeiden.

Prof. Dr. Christopher Kyba ist Professor für Nachtlichterfernerkundung an der Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum. Er plädiert für einen maßvollen Einsatz künstlichen Lichts und gibt Tipps, wie man trotz Lichtverschmutzung noch die Sterne sehen kann.

Herr Professor Kyba, was ist eigentlich Lichtverschmutzung?

So genau ist das gar nicht definiert – wir nutzen es mehr als nützlichen Sammelbegriff für Situationen, in denen zu viel künstliches Licht an einem Ort ist. Das kann auf der Straße sein, wo die Scheinwerfer von Autos andere Fahrende blenden. Das kann aber auch die Lichtimmission, also das Eindringen von Licht, in den eigenen Wohnraum sein. Die zulässige Lichtimmission ist sogar gesetzlich geregelt. Aber die Grenzen liegen sehr hoch.

Wann wirkt künstliches Licht schädlich?

Die meisten Tiere und Pflanzen haben einen Lebensrhythmus entwickelt, der sich am Tageslicht oder auch am Mondlicht orientiert. Schwierig wird es immer dann, wenn das Leben nicht die Menge Licht bekommt, die es erwartet. Einerseits fliegen Insekten zu hellen Laternen und kommen aus deren Bannkreis nicht mehr heraus. Andererseits wird die innere Uhr der Lebewesen gestört. Pflanzen wissen nicht mehr, welche Jahreszeit gerade herrscht. Tiere können nicht entscheiden, ob sie wach sein sollen oder nicht. Vögel wissen nicht: Soll ich jetzt singen oder nicht? Man hat in einer Studie belegen können, dass Vogelarten, die offene Nester bauen, mehr durch das Kunstlicht irritiert werden als solche, die geschlossene Nester bauen. Ob das immer von Nachteil für die Tiere oder Pflanzen ist, ist schwer zu ermessen. Genauso bei uns Menschen: Schadet uns das Kunstlicht? Auf der einen Seite ermöglicht es uns, unheimlich viele Dinge zu tun, die wir ohne es nicht tun könnten. Auf der anderen Seite haben wir als Gesellschaft ein enormes Schlafdefizit. ▶



Wenn künstliches Licht immer leuchtet, wissen Pflanzen nicht mehr, welche Jahreszeit gerade herrscht. Tiere können nicht entscheiden, ob sie wach sein sollen. Vögel wissen nicht: Soll ich jetzt singen oder nicht? (Foto: rs)



”
WIR NUTZEN
GENERELL VIEL
MEHR LICHT,
ALS WIR
EIGENTLICH
BRAUCHEN.
“

Christopher Kyba

Der ESA-Astronaut Thomas Pesquet hat dieses Foto von Nordeuropa von Bord der Internationalen Raumstation aus aufgenommen. Im Norden ist eine Aurora zu sehen. (Bild: ESA/NASA)



Wenn es Vor- und Nachteile des künstlichen Lichts gibt – warum sollte man Lichtverschmutzung trotzdem vermeiden?

Man sollte Licht nur da einsetzen, wo man es wirklich braucht, und nicht darüber hinaus, weil die Zusammenhänge so komplex und die Folgen unüberschaubar sind. Außerdem ist es einfach, Lichtverschmutzung zu vermeiden.

Welche Maßnahmen gibt es denn?

Man sollte zum Beispiel Gebäude nachts nicht anstrahlen oder aus repräsentativen Gründen die Innenbeleuchtung von Hochhäusern brennen lassen. Der DB-Tower in Berlin zum Beispiel ist nachts erleuchtet und bedeutet für Vögel eine echte Gefahr.

Straßenbeleuchtung lässt sich dank Abschirmung oder neuer LED-Technik mit speziellen Linsen sehr gut eingrenzen, sodass nur Bereiche ausgeleuchtet werden, auf denen man geht, und nicht die Wiese oder der Teich daneben oder eine Fläche hinter einem Zaun. Man sollte eine Wegebeleuchtung gut austarieren. Es ergibt keinen Sinn, einen Weg sehr hell zu beleuchten, weil dann die Umgebung umso finsterner wirkt. Wir nutzen generell viel mehr Licht, als wir eigentlich brauchen. Es gibt schon viele Städte, die die Straßenbeleuchtung ab einer gewissen Uhrzeit ganz abschalten. In Frankreich machen das ein Drittel aller Kommunen, in Deutschland viele kleinere Städte, die größte ist Gütersloh.

Fällt die Beleuchtung privater Haushalte auch ins Gewicht?

Ja, das ist es, was die Sache so schwierig macht. Fast jeder entscheidet mit über die Beleuchtung, die meisten Leute sind aber keine Lichtexperten. Alle, die ein Haus oder einen Laden besitzen, entscheiden selbst über dessen Beleuchtung. Das sind allein in Bochum vielleicht um die 200.000 Menschen. Sie sollten sich fragen: Welches Licht ist wirklich nötig? Muss die Fassadenbeleuchtung die ganze Nacht an sein? Der Garten mit Dekolampen ausgeleuchtet?

Müssen wir also auf all diese Lichter verzichten?

Es gibt Leute, die wollen das alles am liebsten komplett verbieten. So streng bin ich nicht. Aber ich spreche mich dafür aus, das Licht wirklich als Spektakel einzusetzen: Nur Weihnachten wird das Haus von außen beleuchtet, dann wirkt es schön, und die Stimmung hat auch ihren Wert. Wenn man immer beleuchtet, fällt das irgendwann gar nicht mehr auf.

Es hilft auch, im Winter abends die Vorhänge zuzumachen. Eine niedrige Leuchte am Weg ist besser als eine hohe mit großem Lichtkegel. Wegeleuchten kann man auch mit Bewegungsmeldern steuern. Man muss immer daran denken: Unser Garten ist ein Lebensraum für andere, die man nicht stören sollte.

Was ist mit kleinen Solarlampen, die man im Garten hat?

Die sind weniger wegen ihres Lichts ein Problem als vielmehr, weil sie aus Plastik sind und meistens so billig gemacht, dass man die enthaltenen Rohstoffe nicht recyceln kann. Aber viel-

leicht sollten Gärtner auch auf das Licht achten. Eine vierjährige Studie in Brandenburg hat gezeigt, dass die Einführung von Beleuchtung die Anzahl der Nachtschnecken in einer Graslandschaft erheblich erhöht hat.

Wo ist die Lichtverschmutzung am stärksten?

Deutschland leuchtet gegenüber anderen reichen Ländern relativ konservativ. Im Vergleich zu Ländern wie Spanien, Italien oder den USA gibt Deutschland nur etwa ein Viertel bis ein Drittel von deren Licht ab. Warum, das ist noch zu klären. Vielleicht liegt es an der Art der verwendeten Lampen, oder die Antwort liegt in der Geschichte und Kultur des Landes.

Es gibt natürlich auch Unterschiede zwischen Stadt und Land: Während auf dem Land die Straßenbeleuchtung dominant ist, wird sie in Städten häufig von Leuchtwerbung oder dekorativer Beleuchtung überstrahlt. Über Städten bildet sich die sogenannte Lichtglocke, die rötlich am Himmel zu sehen ist. Sie stört Zugvögel und verhüllt uns den Nachthimmel. Das ist ein ästhetischer Verlust und auch ein Verlust unseres kulturellen Erbes.

Hätte man vor 50 Jahren von deutschen Städten aus mehr Sterne gesehen als heute?

Ja, viel mehr! Seitdem ist die Straßenbeleuchtung heller geworden, es gibt privat mehr Beleuchtung, die Werbung hat sich drastisch verändert. Das ist eine Entwicklung, die man im Laufe eines Menschenlebens nicht so stark wahrnimmt, aber für die Erde geht sie sehr schnell. Erst seit etwa 1925 nennt man übrigens wolkenlose Nächte „sternenklar“. Vor 1900 war der Ausdruck „sternenhell“ deutlich gebräuchlicher.

Wie weit muss man sich von einer Stadt entfernen, um der Lichtglocke zu entgehen?

Experimente mit Kameras in Australien und den Pyrenäen haben ergeben, dass man sich 300 bis 400 Kilometer von einer Stadt entfernen muss, damit man die Lichtglocke nicht mehr messen kann. Wenn man mit bloßem Auge schaut, genügen vielleicht 50 bis 80 Kilometer. Aber das geht ja hier bei uns gar nicht, weil unser Siedlungsmuster keine so großen Abstände zwischen zwei Städten lässt.

Den Sternenhimmel kann man aber trotzdem betrachten. Es hilft schon, in einen unbeleuchteten Park zu gehen oder einen Hinterhof. Wo keine direkte Beleuchtung ist, werden wir weniger geblendet. Auf dem Land hat man generell einen besseren Blick auf die Sterne. Und dann gibt es Sterneparks, die von der Initiative „DarkSky International“ anerkannt sind, unter anderem in der Eifel.

Ist das Bewusstsein für Lichtverschmutzung gewachsen?

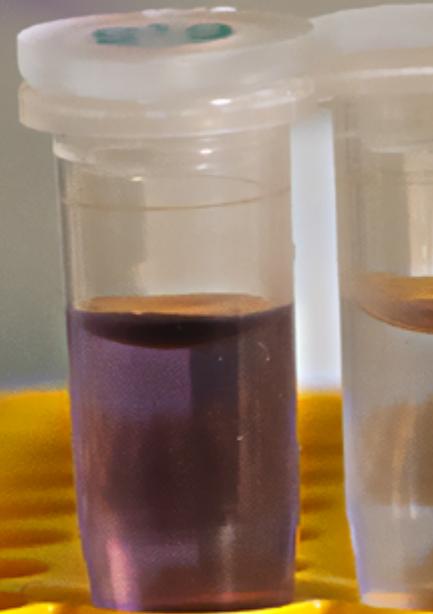
Ja, ich denke schon. Wenn ich früher gesagt habe, ich beschäftige mich mit Lichtverschmutzung, haben die Leute nachgefragt: „mit Luftverschmutzung“? Heute haben die meisten eine Ahnung, worum es geht.

md

Biochemie

DIE REGENBOGENFARBEN DES KOHLENSTOFFS

Im Labor von Sebastian Kruss überrascht Kohlenstoff mit verschiedenen Farben. Die Bochumer Forschenden experimentieren mit den bunten Winzlingen für biomedizinische Anwendungen.



Wer an das Element Kohlenstoff denkt, hat in der Regel dunkle Farben vor Augen. Kohle – schwarz, klar. Oder das Graphit aus Bleistiftminen – grau. Wer funkelnde Edelsteine mag, denkt vielleicht auch an kristallklare Diamanten. Aber nur den wenigsten dürften bei dem Gedanken an Kohlenstoff die Farben des Regenbogens durch den Kopf schießen. Doch auch so gibt es ihn, wie man im Labor von Prof. Dr. Sebastian Kruss feststellen kann.

Der Bochumer Physikochemiker experimentiert mit Kohlenstoff-Nanoröhren. Diese winzigen Röhren bestehen aus einem wabenförmigen Kohlenstoff-Geflecht und sind so klein, dass man sie mit bloßem Auge nicht sehen kann: 100.000-mal dünner als ein menschliches Haar. Eine wässrige Lösung aus beliebigen Kohlenstoff-Nanoröhren erscheint erwartungsgemäß schwarz. Aber trennt man die Röhren fein säuberlich nach unterschiedlichen Durchmessern auf, offenbaren sie ihre Farbpracht. Ein Durchmesser erzeugt

eine gelbe Flüssigkeit, ein anderer eine grüne, der nächste eine blaue – und so weiter.

Nanoröhren-Lösungen sind aber nicht bloß hübsch anzuschauen, sie erfüllen in der Arbeitsgruppe Biophotonik und funktionale Materialien der Ruhr-Universität Bochum einen besonderen Zweck: Sie werden als Sensoren verwendet. Denn die Kohlenstoff-Winzlinge haben eine praktische Eigenschaft: Scheint sichtbares Licht auf sie, fluoreszieren sie. Das heißt, sie senden Licht einer anderen Wellenlänge aus, als eingestrahlt wurde, und zwar im Nahinfrarot-Bereich. Das Nahinfrarot liegt zwischen den für Menschen sichtbaren Wellenlängen und dem Infrarot-Bereich, den wir als Wärmestrahlung wahrnehmen.

„Dieser Wellenlängenbereich ist für viele Anwendungen interessant, zum Beispiel für die biomedizinische Diagnostik“, so Sebastian Kruss. Im Gegensatz zu sichtbarem Licht streut Nahinfrarot-Licht weniger. „Das heißt, wir können da-



Kohlenstoff-Nanoröhren sind bunt. Ihre Farbpracht offenbaren sie aber nur, wenn eine wässrige Lösung ausschließlich Röhren mit einem bestimmten Durchmesser enthält.

mit schärfere Bilder aufnehmen“, sagt er. „Außerdem kann das langwelligere Nahinfrarot-Licht tiefer in Gewebe eindringen als sichtbares Licht und ist dabei unschädlich.“

Anwendungen in der Biomedizin

Anwendungen sind viele denkbar: „Man kann mit den Kohlenstoff-Nanoröhren Strukturen im Körper sichtbar machen oder verschiedene Substanzen nachweisen“, gibt Kruss Beispiele. Mit seiner Gruppe hat er etwa gezeigt, dass sich der Botenstoff Dopamin, der eine wichtige Rolle bei der Parkinson-Erkrankung spielt, auf diese Weise detektieren lässt.

Um die Nanoröhren als Sensoren für körpereigene Stoffe zu nutzen, müssen die Forschenden sie zunächst biokompatibel machen. Dazu verpassen sie ihnen ein Kostüm. Sie beladen die Oberfläche mit Biopolymeren oder wickeln ein DNA-Fragment herum, sodass die Nanoröhren aussehen, als würden sie zum Körper gehören. Diese Modifikation dient aber noch

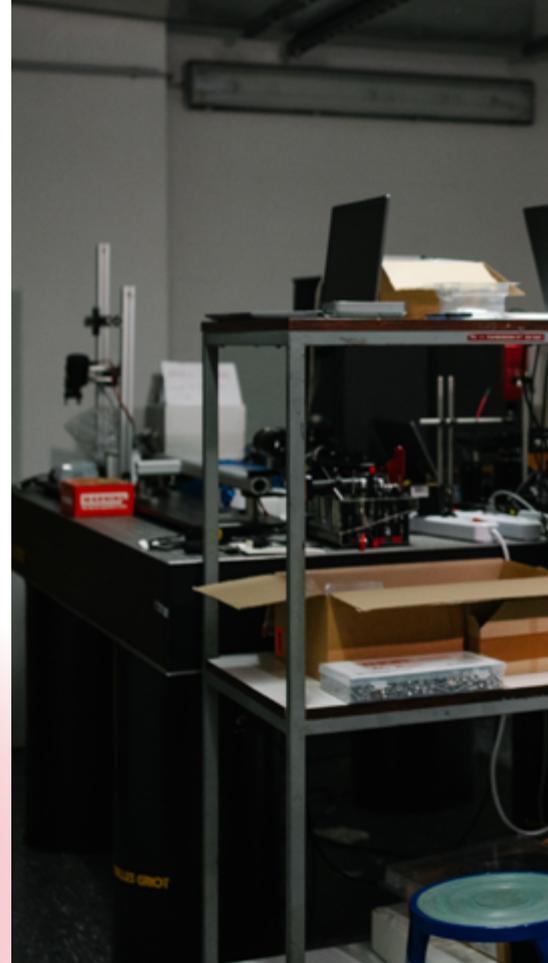
einem weiteren Zweck: Indem die Forschenden die Röhren in eine Verpackung hüllen, können sie auch Bindestellen für beliebige Substanzen einbauen – etwa für Dopamin.

Trifft ein Dopamin-Molekül auf eine passend modifizierte Nanoröhre, dockt das Dopamin an der Oberfläche des Röhrens an, was deren Leuchten im Nahinfrarot-Bereich verändert; es leuchtet heller. Diesen Unterschied können die Biochemikerinnen und Biochemiker mit eigens dafür gebauten Mikroskopen erfassen.

So gelang es den Forschenden, die Konzentration von Dopamin mithilfe der Kohlenstoff-Nanoröhren als Sensor zu messen. Und das nicht nur in einer standardisierten Pufferlösung. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler maßen auch die direkte Freisetzung aus Zellen unter Bedingungen wie im menschlichen Körper. „Letzteres ist viel komplizierter, weil zum Beispiel Blut alle möglichen Bestandteile enthält, die die Messung stören können“, verdeutlicht Kruss. ▶

i WIE WASSERMOLEKÜLE DAS LEUCHTEN VERÄNDERN

Warum Kohlenstoff-Nanoröhren ihr Leuchten verändern, wenn ein Molekül an sie bindet, hat das Team von Prof. Dr. Sebastian Kruss gemeinsam mit der Gruppe von Prof. Dr. Martina Havenith im Exzellenzcluster Ruhr Explores Solvation (RESOLV) untersucht. Die Forschenden zeigten, dass die Wassermoleküle in der unmittelbaren Umgebung der Nanoröhren dafür entscheidend sind. Das Team verfolgte mit der Terahertz-Spektroskopie, wie Energie zwischen den Nanoröhren und der Wasserhülle fließt. Strahlt man Licht auf die Nanoröhren ein, nehmen sie einen Teil dieser Energie auf und strahlen einen anderen als Nahinfrarot-Licht wieder ab. Einen Teil der Lichtenergie können sie aber auch an die Wasserhülle abgeben. Nanoröhren, die heller leuchten, transferieren weniger Energie ins Wasser. Nanoröhren, die schwächer leuchten, geben mehr Energie ins Wasser ab. Die Funktionsweise der leuchtenden Röhren im Detail zu verstehen, hilft den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, deren Eigenschaften in Zukunft noch präziser maßschneidern zu können.



Sebastian Kruss leitet an der Ruhr-Universität Bochum die Arbeitsgruppe für Biophotonik und funktionale Materialien.

Anwendungen der Methode sind zum Beispiel für die personalisierte Medizin denkbar. Menschen mit Parkinson-Krankheit erhalten zur Behandlung häufig L-Dopa, eine Vorstufe des Dopamins. „Die L-Dopa-Menge muss sich in einem bestimmten therapeutischen Fenster bewegen“, erläutert Sebastian Kruss. Eine zu geringe oder zu hohe Menge wirkt sich negativ auf die Symptome aus. „Eine bestimmte Dosis kann für einen Patienten optimal sein, für eine andere Patientin aber nicht“, führt der Biochemiker weiter aus. „Es gibt unter anderem Geschlechtsunterschiede.“

Präzise Messungen für die personalisierte Medizin

Dieses Problem ließe sich lösen, wenn man die L-Dopa-Konzentration einfach messen könnte – zum Beispiel über Kohlenstoff-Nanoröhren. „Ein solcher Test könnte ähnlich wie ein Glukosetest ablaufen, indem man einen Tropfen Blut abnimmt und die Messung außerhalb des Körpers macht“, so Kruss. Die L-Dopa-Menge könnte je nach Bedarf variiert werden, so wie Menschen mit Diabetes die Insulin-Menge nach einem Blutzucker-Test anpassen können.

Die Forschenden zeigten bereits, dass L-Dopa in menschlichem Serum messbar ist. Außerdem konstruierte das Bochumer Team in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer Institut für mikroelektronische Schaltungen und Systeme in Duisburg ein kleines Auslesegerät für die Nanoröhren-Sensoren, das theoretisch mit einer Handykamera auslesbar

ist. In Zukunft wollen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Technologie in Richtung eines Produktes weiterentwickeln. Potenzielle Anwendungen der Nanoröhren-Sensortechnik beschränken sich aber nicht auf Dopamin-Messungen. Auch andere Stoffe können damit nachgewiesen werden, etwa solche, die die Anwesenheit bestimmter Bakterien oder Viren verraten. Zudem kann die Bochumer Gruppe mit der Technik sichtbar machen, wie Nervenzellen miteinander kommunizieren.

Das Team erprobt aber auch einen Einsatz jenseits der Biomedizin und testet die Kohlenstoff-Nanoröhren als Pflanzen-Sensoren. „Unsere Vision sind smarte Pflanzen“, sagt Kruss. „Wir können sie mit Nanosensoren ausstatten und mit ihnen kommunizieren, um herauszufinden, was ihnen fehlt.“

Durch Hitze oder Trockenheit gestresste Pflanzen schütten reaktive Sauerstoffspezies aus, deren Anwesenheit das Leuchten der Nanoröhren verändert. Gegen Schädlinge verteidigen sich Pflanzen, indem sie bestimmte Substanzen absondern – die sich genau wie die Sauerstoffspezies mit Nanoröhren nachweisen lassen. „Die Idee ist, sehr genau feststellen zu können, was einer Pflanze fehlt, um dann präzise und ressourcensparend die richtigen Maßnahmen einleiten zu können“, skizziert Sebastian Kruss das Fernziel dieser Forschung. Das sind doch alles andere als kohleschwarze Aussichten.

Text: jwe; Fotos: tk



So muss man sich den Aufbau von Kohlenstoff-Nanoröhren vorstellen. Sie bestehen aus einer einzelnen Lage von Kohlenstoff-Atomen, die unterschiedliche Wabenstrukturen bilden können. Anders als diese Modelle aus dem 3D-Drucker sind die echten Röhrrchen 100.000-mal dünner als ein Haar.



Doktorandin Magdalena Kuom präpariert eine Probe mit Kohlenstoff-Nanoröhren, aus denen leuchtende Biosensoren entstehen.

TABLET VOR DEM EINSCHLAFEN IST GAR NICHT SO SCHÄDLICH WIE GEDACHT

Das blaue Licht, das Tablets abstrahlen, steht im Verdacht, den Schlaf zu erschweren. Doch eine aufwendige Studie mit Kindern konnte dies nicht bestätigen.

„Nur eine Folge und dann geht's ins Bett!“ Mit diesen Worten läuten wohl sehr viele Eltern das abendliche Zubettgehen-Ritual ihrer kleinen Kinder ein. Doch viele plagt dabei auch das schlechte Gewissen. Hört man doch immer wieder, dass das von digitalen Geräten abgegebene blaue Licht uns das Einschlafen erschwert, da es die Produktion des Schlafhormons Melatonin beeinflusst.

Die drei Wissenschaftlerinnen Prof. Dr. Sabine Seehagen, Neele Hermesch und Dr. Carolin Konrad vom Lehrstuhl für Entwicklungspsychologie der Ruhr-Universität Bochum wollten wissen, ob an dieser Vermutung wirklich etwas dran ist, und konzipierten eine aufwendige Studie.

„Wir beschäftigen uns schon länger mit dem Thema Babyschlaf und Mediennutzung, es besteht daran auch ein sehr großes Interesse von Eltern, aber auch Forschenden“, sagt Sabine Seehagen. „Allerdings ist dieses Forschungsfeld sehr geprägt von korrelativen Studien, wo geschaut wird: Wie lange schlafen die Kinder? Wie viel Medienzeit hatten sie? Diese Vorgehensweise sagt aber noch nicht wirklich etwas darüber aus, ob die Medien Schuld sind an dem schlechten Schlaf. Oder ob doch etwas ganz anderes dahintersteckt. Das ist auch keine triviale Frage, und sie ist nicht nur aus wissenschaftlicher, sondern auch aus ganz praktischer Sicht interessant. Das war der Grund, warum wir experimentell arbeiten wollten“, so Sabine Seehagen.

Während die allermeisten Experimente in dem Bereich mit Erwachsenen in Laboren durchgeführt werden, war es den drei Bochumer Entwicklungspsychologinnen ein großes Anliegen, die Kinder in ihrem häuslichen Umfeld zu testen und zu beobachten, um zu verstehen, welche Bedeutung das Tablet für den Schlaf im Alltag hat.

Weil sie blaues Licht abstrahlen, stehen Tablets im Verdacht, den Schlaf negativ zu beeinflussen, wenn man sie vor dem Zubettgehen nutzt. In einer aufwendigen Studie sind Bochumer Entwicklungspsychologinnen dem nachgegangen. (Foto: RUB, Marquard)





Neele Hermesch beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit den Auswirkungen von Medienkonsum auf Schlaf und Gedächtnis im Kleinkindalter. Gemeinsam mit Bachelor- und Masterstudierenden besuchte sie Familien aus Bochum und Umgebung für die Teilnahme an den Studien. (Foto: RUB, Marquard)

Ist es für den kindlichen Schlaf besser, ein Bilderbuch vor dem Zubettgehen anzuschauen statt einer Serie? Mit ihrer Studie möchten die Bochumer Entwicklungspsychologinnen das herausfinden. (Foto: RUB, Marquard)

i MELATONIN UND BLAUES LICHT

LED-Bildschirme strahlen Licht ab und im Vergleich zu anderen Lichtquellen besonders viel blaues, kurzwelliges Licht. In diesem Licht stecken verschiedene nicht immer sichtbare Anteile, von denen man weiß, dass sie über besondere Rezeptoren im Auge und verschiedene Nervenbahnen in einen bestimmten Bereich des Gehirns geleitet werden, nämlich die Zirbeldrüse. Diese steuert über die Ausschüttung des Hormons Melatonin (Schlafhormon) den Schlaf/Wach-Rhythmus. Dementsprechend könnte das blaue Licht, das Tablets abstrahlen, unseren Hormonhaushalt durcheinanderbringen. Bei Erwachsenen weiß man, dass der Melatoninspiegel zwischen 21 und 23 Uhr anfängt zu steigen und bis 3 oder 4 Uhr nachts immer weiter ansteigt und dann wieder abfällt. Allerdings kann man auch einschlafen, ohne dass der Melatoninspiegel ansteigt. Denn auch der sogenannte Schlafdruck beeinflusst, ob wir müde sind und einschlafen können. Die Melatoninausschüttung wird zudem von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Zum Beispiel von körperlicher Aktivität oder davon, wie viel Licht man am Tag ausgesetzt war.

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

In der Melatoninstudie war die Reihenfolge von Tablet und Buch ausbalanciert; das bedeutet, manche Kinder sahen zunächst das Buch, andere an Tag 1 die Folge auf dem Tablet.

- Tag 1: 15 Minuten lang in dämmeriger Umgebung Bilderbuch Peppa Wutz
- Tag 2: 15 Minuten lang in dämmeriger Umgebung Peppa Wutz als Film auf einem Tablet
- In der Stunde vor dem Schlafengehen wurden drei Speichelproben entnommen: eine vor Buch/Tablet und zwei weitere in der halben Stunde zwischen Schauen und Zubettgehen.

Die 32 teilnehmenden Familien mit Kindern zwischen 15 und 24 Monaten wurden von den Forscherinnen jeweils zweimal besucht und instruiert. Im Zentrum des Experiments stand die Frage, ob das Anschauen einer Geschichte auf dem Tablet andere Folgen für die Ausschüttung von Melatonin und den Nachtschlaf hat als das Anschauen derselben Geschichte in einem Bilderbuch. Die Studie wurde von den Eltern selbst durchgeführt, nämlich an zwei Abenden in der Stunde vor dem Zubettgehen der Kinder. Hier wären anwesende fremde Personen ein zu großer Störfaktor gewesen. Zusammen mit ihren Eltern schauten die Kinder sich eine Geschichte an einem Abend auf dem Tablet an und an einem anderen Abend wurde sie ihnen vorgelesen. Dem kurzweiligen Licht des Tablets waren sie also nur an einem Abend ausgeliefert.

Nachtischlampe für dämmeriges Licht

Die Kinder bekamen zudem eine Schlafuhr ans Fußgelenk, welche die Bewegungen in der Nacht durch Sensoren wahrnahm. Dadurch konnten die Wissenschaftlerinnen anschließend Rückschlüsse auf das Schlafverhalten ziehen, zum Beispiel Schlafdauer, -qualität und Einschlafzeit.

„Da wir uns besonders dafür interessiert haben, ob es eine Veränderung in der Melatoninausschüttung in der Abendstunde durch das Licht vom Bildschirm gibt, wollten wir verhindern, dass andere Lichtquellen unseren Versuchsaufbau torpedieren. Wir haben den Eltern daher eine Nachtischlampe zur Verfügung gestellt, und sie gebeten, andere helle Lichtquellen und Bildschirme zu vermeiden“, erklärt Neele Hermesch das Vorgehen.

Der Melatoninspiegel eines Menschen lässt sich in Körperflüssigkeiten nachweisen, unter anderem im Speichel. Die Eltern entnahmen ihren Kindern daher jeweils vor und nach der Tabletnutzung und dem Bilderbuchlesen Speichelproben, welche im Anschluss im Labor untersucht wurden.

„Wir haben an dem Abend mit Tablet einen flacheren Anstieg in der Melatoninausschüttung erwartet als an dem Abend mit Bilderbuch“, so Carolin Konrad. Dies würde dafür sprechen, dass das Blaulicht, das von dem Tablet abgestrahlt wird, die Melatoninproduktion unterdrückt.



Sabine Seehagen, Neele Hermesch und Carolin Konrad (von links) bei der Auswertung der Daten ihrer Studie. (Foto: tk)

Doch überraschenderweise bestätigten die Daten diese Annahme nicht. Die Forscherinnen beobachteten zwar den erwarteten Anstieg des Melatonins über die Zeit hinweg, aber das Melatonin stieg gleich viel an – egal ob Tablet geschaut wurde oder ein Bilderbuch. „Auf Basis der Studie würden wir nicht davon ausgehen, dass das Blaulicht dazu geführt hat, dass das Melatonin verzögert ausgeschüttet wurde“, fasst Neele Hermesch die Beobachtungen zusammen.

Betrachtet man vorhergegangene Studien zum Thema Tabletnutzung und Melatoninausschüttung, so sind die Ergebnisse relativ heterogen. Manche sprechen dafür, dass es einen Effekt gibt, andere dagegen. Nach aktuellen Empfehlungen wie die der Weltgesundheitsorganisation und des Bundesinstituts für Öffentliche Gesundheit sollten Säuglinge und Kleinkinder möglichst keinerlei Bildschirmmedien nutzen. Insbesondere der Medienkonsum am Abend wird vielfach kritisch gesehen.

„Nach unserer Studie, die durch ihren experimentellen Charakter im Zuhause der Kinder ziemlich einzigartig ist, können wir diese Befürchtung nicht uneingeschränkt teilen“, so Neele Hermesch. Ihre Kollegin Carolin Konrad ergänzt: „Wir haben auch nicht gesehen, dass sich der Schlaf in beiden Nächten voneinander unterschieden hätte. Es hätte ja auch sein können, dass die Melatoninwerte zwar gleich sind, die Schlafqualität aber unterschiedlich. Doch dem war nicht so, die Kinder sind zum Beispiel nicht schlechter eingeschlafen, nachdem sie den Film gesehen hatten.“

Wichtig ist den Forscherinnen jedoch zu betonen, dass es hierbei natürlich stark auf die Art des Films und die Dauer des Anschauens ankommen könnte. Auch ob die Eltern mitschauen oder nicht, könnte Auswirkungen haben. Denn neben möglichen Konsequenzen für das Melatonin könnten Bildschirmmedien auch anders den Schlaf beeinflussen, zum Beispiel wenn Inhalte sehr aufregend sind und so verhindern, dass Kinder zur Ruhe kommen.

Im Rahmen ihres Projektes führten die Entwicklungspsychologinnen auch noch eine weitere Studie durch: Hier stand nicht das Melatonin als möglicher erklärender Mechanismus im Vordergrund, stattdessen ging es darum, ob die Tabletnut-

zung vor dem Einschlafen über mehrere Tage den Schlaf und darüber auch das Lernen der Kinder beeinflusst. Schließlich kennen wir das alle: Übermüdet lernt es sich schlechter und wir sind auch weniger kreativ. Auch hierbei kam am Abend zuvor die Geschichte von Peppa Wutz als Film oder als Buch zum Einsatz. Am Morgen danach bekamen die Kinder spezielle Spielzeuge, mit denen die Faktoren Kreativität und Lernen abgefragt werden konnten. Und auch hier machten die Forscherinnen eine Beobachtung, die wahrscheinlich viele Eltern beruhigen dürfte: „Wir haben bisher keine überzeugenden Belege gefunden, dass der Schlaf oder das Lernen durch den Film beeinträchtigt wurden. Allerdings haben wir die Daten noch nicht vollständig ausgewertet, die Ergebnisse sind also als vorläufig zu betrachten“, so Sabine Seehagen.

Der Einfluss verschiedener Lichtquellen

Und wie geht es nun weiter? „Wünschenswert sind weitere Studien im natürlichen Umfeld, also bei Familien zuhause, denn wir wissen, dass Kinder dort auch in den Abendstunden verschiedenen hellen Lichtquellen ausgesetzt sind, abgesehen von Bildschirmen. Und wir wissen auch, dass es entscheidend für den Anstieg des Melatonins am Abend sein kann, wie viel natürliches Tageslicht man über den Tag verteilt ausgesetzt war. Man sollte also den zukünftigen Studien den Einfluss verschiedener Lichtquellen im Alltag im Blick behalten, um den Effekt von Bildschirmen realistisch einordnen zu können. Zudem könnte man die Dauer der Bildschirmnutzung variieren. Abschließend ist zu erwähnen, dass wir uns in dieser Studie die Tabletnutzung an einem Abend angesehen haben. Wir können damit keine Aussage machen, ob regelmäßige Tabletnutzung in den Abendstunden den Beginn der Melatoninausschüttung verschiebt. Es wäre spannend zu sehen, ob weitere Studien unter Alltagsbedingungen zu den gleichen Ergebnissen kämen, denn wie gesagt wurden solche Untersuchungen bisher nur unter Laborbedingungen durchgeführt“, so Neele Hermesch.

Augenheilkunde

BRILLE ADÉ

*Alle paar Jahre zum Lasern
und immer scharf sehen ohne
Brille – ein Traum. Forschende
und Industriepartner entwi-
ckeln die Methode.*

Sie drücken, rutschen, verstecken den wichtigsten Teil des Gesichts, verschwinden ständig und sind immer schmutzig: Brillen sind so verbreitet wie ungeliebt. Irgendwann haben die meisten Menschen eine, denn Kurz- und Weitsichtigkeit sind in der Bevölkerung häufig, später im Leben kommt meistens noch eine Altersweitsichtigkeit hinzu. „Kurzsichtigkeit nimmt außerdem schon bei Kindern zu, womöglich eine Folge von zu viel Zeit vor Bildschirmen und zu wenig Aufenthalt draußen“, weiß Prof. Dr. Stephanie Joachim. Sie ist Leiterin des Experimental Eye Research Institute an der Universitätsaugenklinik an den Knappschaft Kliniken, Universitätsklinikum Bochum.

Angesichts all der Nachteile von Brillen (und Kontaktlinsen, die nicht alle vertragen) liegt der Gedanke nahe, den Sehfehler direkt zu beheben, anstatt ihn durch Linsen auszugleichen. Seit Jahrzehnten ist es möglich, die Augen mit Laser zu behandeln. Bei den etablierten Verfahren kommen Femtosekundenlaser zum Einsatz, die entweder einen Teil der Hornhaut abtragen oder die Hornhaut öffnen und anheben, um einen Bereich zu entnehmen und den Schnitt dann wieder zuzuklappen. Ziel ist es immer, die Brechkraft des Gewebes zu verändern, damit eingehende Lichtreize punktgenau auf die Netzhaut geleitet werden, sodass man scharf sieht.

„Diese Laserbehandlung ist natürlich nur innerhalb gewisser Grenzen möglich“, schränkt Stephanie Joachim ein. „Wer zum Beispiel eine sehr dünne Hornhaut hat, für den eignet sich die Methode nicht. Und gegen Altersweitsichtigkeit ist sie auch kein Mittel.“ Wer sich heute für das Lasern entscheidet, ist meistens nicht älter als 30 bis 40 Jahre. Und ►

Rainer Kötter untersucht die
Hornhautdicke genau.







„ VIELLEICHT
WERDEN WIR UNS
IN ZUKUNFT ALLE
PAAR JAHRE AUF
DIESE ART BEHAN-
DELN LASSEN UND
KÖNNEN SO AUF DIE UN-
GELIEBTEN BRILLEN UND KONTAKT-
LINSEN VERZICHTEN. “

Stephanie Joachim

es ist sehr wahrscheinlich, dass man später doch wieder eine Brille braucht, denn die Augen verändern sich stetig weiter.

„Viele Brillenträger*innen schrecken auch vor dem Eingriff zurück, weil sie Angst haben vor Nebenwirkungen“, berichtet Stephanie Joachim. „Der Sehsinn und die Augen sind für uns Menschen sehr wichtig, da überlegt man sich gut, ob man eine Behandlung in Erwägung zieht, bei der Gewebe geschnitten und entfernt wird.“

Gemeinsam mit der Firma SCHWIND eye-tech-solutions entwickelt ihr Team im vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt HARMONY eine neuartige Laserbehandlungsmethode, bei der nicht geschnitten wird. „Wir wollen den Brechungsindex der Hornhaut nicht-invasiv verändern“, erklärt sie das Ziel der Methode LIRIC – Laser-induced refractive index change. Der eingesetzte Laser, den die Firma Schwind weiterentwickelt, ist ebenfalls ein Femtosekundenlaser. Die Laserparameter unterscheiden sich allerdings gegenüber anderen Verfahren, sodass die Pulse deutlich unterhalb der Zerstörschwelle arbeiten, wodurch

kein Schnitt oder sonstige Schädigung im Gewebe entsteht. Es verändert sich aber trotzdem. „Was im Gewebe im Detail dabei passiert, wissen wir noch nicht“, sagt Stephanie Joachim. „Wir vermuten, dass Wasser heraus gedrängt wird. Möglicherweise verändert sich aber auch die extrazelluläre Matrix der Hornhautzellen. Das erforschen wir gerade.“

Eine Gewebeveränderung mit fließendem Übergang

Aktuell nutzen die Forschenden im Universitätsklinikum Bochum einen technischen Demonstrator, den die Firma Schwind gebaut und zur Verfügung gestellt hat. Sie untersuchen die Wirkung des Lasers an Hornhäuten von Schweinen, deren Augen als Schlachtabfall übrigbleiben. In gestanzte Ausschnitte der wenige Mikrometer dünnen Hornhaut lasern sie feine Linien. Manipuliert wird der obere Bereich der mittleren Schicht der Hornhaut.

„Wir programmieren das Gerät, sodass es die eigentliche Laserbestrahlung dann eigenständig ausführt“, beschreibt Stephanie Joachim. „Es entsteht dadurch eine Veränderung



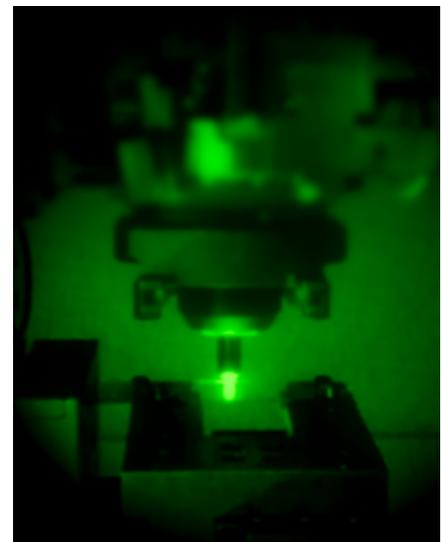
Stephanie Joachim (links) und Rainer Köterhoff, durch eine neue Lasertherapie von Fehlsichtigkeiten für mehr Lebensqualität zu sorgen.



Die Hornhaut verändert sich durch die Laserbehandlung, sodass die Brechung angepasst werden kann.



Die Forschenden testen das neue Verfahren an den Hornhäuten von Schweinen.



Der Laser ist so eingestellt, dass das Gewebe der Hornhaut nicht geschnitten wird, sondern sich nur in seiner Struktur verändert.

mit fließendem Übergang zum nicht behandelten Gewebe, die man mit bloßem Auge nicht erkennen kann – im Gegensatz zu bisherigen Lasermethoden, bei denen man die Schnitte zumindest anfangs deutlich sieht.“

Im Anschluss an die Laserbehandlung unterziehen die Forschenden die Hornhäute verschiedensten Tests, um die Sicherheit der Methode zu belegen. Optische Kohärenztomographie-Aufnahmen zeigen die Dicke der Hornhaut, die biomechanischen Eigenschaften werden untersucht, das absolute Gewicht gemessen. Gewebe- und Genanalysen müssen zeigen, ob es in der behandelten Region nicht zu vermehrtem Zelltod kommt oder man auffällige Entzündungsanzeichen feststellen kann. „Die bisherigen Ergebnisse sind alle in Ordnung“, berichtet Stephanie Joachim. „Wir konnten keine erschreckenden schädlichen Folgen feststellen.“ Stattdessen sehen die Forschenden eine punktuelle Verdichtung des Gewebes mit linsenähnlichen Eigenschaften – genau das, was sie sich wünschen. Die Veränderung des Brechungsindex durch die Behandlung ist bereits nachgewiesen.

„Es wird noch Jahre dauern, bis die Methode in der Praxis anwendbar ist“, macht Joachim deutlich. „Wenn es so weit ist, wird diese Art der Behandlung vielleicht eine größere Akzeptanz finden als die bisherigen Lasermethoden, weil sie nichts zerstört.“ Aus demselben Grund eignet sich das Verfahren auch für mehr Patient*innen, eben auch für solche, deren Hornhaut sehr dünn ist. Auch Altersweitsichtigkeit würde sich behandeln lassen. „Ich vermute, dass die Auswirkungen der Behandlung im Laufe der Zeit auch wieder zurückgehen werden, weil sich das Gewebe regeneriert“, sagt Stephanie Joachim. „Vielleicht werden wir uns in Zukunft einfach alle paar Jahre auf diese Art behandeln lassen und können so auf die ungeliebten Brillen und Kontaktlinsen verzichten.“ Das würde für viele Menschen mehr Lebensqualität bedeuten, ist die Forscherin sicher. „Auch Sportler*innen und Menschen in bestimmten Berufen wie Pilot*innen oder Feuerwehrleute, die Schutzkleidung tragen müssen, könnten sehr davon profitieren, keine Brille mehr zu brauchen.“

Text: md, Fotos: dg

Religionswissenschaft

AUFGELÖST IN LICHT

Seit Jahrtausenden haben Religionen ihre eigene Sprache, um das Unaussprechliche in Bilder und Worte zu fassen. Carmen Meinert analysiert Licht-Metaphern, um sich religiösen Sinnbildungsprozessen im Buddhismus zu nähern.

Inmitten von Wüstengebieten im östlichen Zentralasien – in der heutigen chinesischen Provinz Gansu – liegt die Oasenstadt Dunhuang, einstiger Knotenpunkt der sogenannten Seidenstraßen. 25 Kilometer davon entfernt befinden sich Hunderte Höhlen, die sogenannten Mogao-Höhlen, die heute zum UNESCO-Weltkulturerbe gehören. Buddhistische Mönche und Laien schlugen sie zwischen dem 4. und 12. Jahrhundert in die Sandsteinfelsen. An den Höhlenwänden leuchten Tausende von Wandmalereien, die die verschiedensten buddhistischen Motive und Lehrinhalte abbilden. Das gilt auch für die Höhle 465, die die Bochumer Forscherin Prof. Dr. Carmen Meinert im Projekt „BuddhistRoad“ erforscht hat.

„In Höhle 465 findet sich ein für die Mogao-Höhlen einzigartiger Altar“, erzählt die Expertin für Zentralasienkunde, Buddhismuskunde und Tibetologie, die nicht nur das Bildprogramm an den Höhlenwänden, sondern auch textliche Funde aus der Region analysiert hat. „Die Wandmalereien in Höhle 465 weisen auf die tantrische Tradition des Buddhismus hin. Die Höhle und der Altar dienten nicht zur Ahnenverehrung, wie es bei anderen Höhlen der Fall war, sondern als Ritualraum, als Raum der Transzendenzerfahrung. Um den stockfinsteren Raum zu erhellen, wurden auf dem Altar unter anderem Laternen positioniert“, so Meinert. Wie erlangt eine gewöhnliche Höhle solch eine religiöse Bedeutung? Welche Rolle spielt Licht dabei? In einem Teilprojekt des Sonderforschungsbereiches (SFB) „Metaphern der Religion: Religiöse Sinnbildung in sprachlichen Prozessen“ möchte Meinert nun an ihre Arbeit zu den Funden in der Höhle, zur tantrischen Ritualpraxis, anknüpfen und konkret buddhistische Metaphern von Licht und Raum erforschen.

„Im SFB verstehen wir Religion als eine Form von Kommunikation“, erklärt Meinert. Religion helfe Menschen, mit Leid und Tod umzugehen, Unsicherheiten und unvorher-

sehbare Ereignisse zu bewältigen; sie stifte Sinn und spende Trost. „Religion befasst sich mit ultimativer Kontingenzbewältigung und semantisiert Erfahrungen und Wissen aus anderen Bereichen religiös“, so Meinert weiter. Im SFB 1475 geht sie gemeinsam mit Kolleg*innen der Frage nach, wie sich diese religiöse Sinnbildung sprachlich konstituiert. Denn: Sprache spielt in allen Religionen eine zentrale Rolle. „Den Religionen ist gemein, dass sie das Unsagbare in Sprache auszudrücken wissen.“ Aber wie genau wird religiöser Sinn durch Sprache geschaffen?

In der Bochumer Religionswissenschaft ist man davon überzeugt, dass insbesondere Metaphern dabei eine wichtige Aufgabe zukommt. „Wir begreifen Metaphorizität als zentrales Prinzip religiöser Sinnbildung. Religion, die ihren ultimativen Gegenstand, das Transzendente, niemals wörtlich artikulieren kann, ist auf Metaphern angewiesen. Dabei wird in Metaphern Sinn von einer semantischen Domäne in eine andere übertragen“, fasst Meinert die Grundannahme zusammen. ▶

i PROJEKT „BUDDHISTROAD“

Im vom Europäischen Forschungsrat geförderten Projekt „BuddhistRoad“ erforschten Meinert und Kolleg*innen, wie sich der Buddhismus in vormodernen zentralasiatischen Kulturen lokal ausgeprägt hat.

Weitere Informationen und Publikationen:

➤ buddhistroad.ceres.rub.de/en

IMMANENZ UND TRANSZENDENZ

Der Begriff Immanenz bezieht sich in der Religionswissenschaft – kurz gesagt – auf das Hier und Jetzt, auf alles, was innerhalb der unmittelbaren Erfahrungs- und Wahrnehmungswelt liegt. Alles, was auf ein Dort, Jenseitiges, verweist, also diese materielle, sichtbare und erforschbare Erfahrungswelt übersteigt, wird mit dem Begriff der Transzendenz beschrieben.

SONDERFORSCHUNGSBEREICH 1475

Die Teilprojekte des SFB 1475 behandeln unter anderem Buddhismus, Christentum, Daoismus, Islam, Jainismus und Zoroastrismus auf der Grundlage von Primärquellen aus Europa, dem Nahen und Mittleren Osten sowie Süd-, Zentral- und Ostasien. Die Zeitspanne reicht von 3000 vor Christus bis heute.

Religiöse Sinnbildung vollzieht sich in und durch Metaphern. Religion, die ihren ultimativen Gegenstand, das Transzendente, niemals wörtlich artikulieren kann, ist auf Metaphern angewiesen. (Foto: Carmen Meinert)

Eine der zentralsten Metaphern, die auf das Transzendente verweist, ist die Lichtmetapher. Daher lautet auch eine der Hauptforschungsfragen der Religionswissenschaftler*innen, ob sie durch andere Metaphern weiter erklärt werden kann, oder ob Licht aufgrund der Abstraktionsebene bereits als absolute Metapher zu verstehen ist. Andere Forschungsfragen lauten: Welche Konkretisierung erfährt die Lichtmetaphorik und wie wird diese im Vergleich zu anderen religiösen Traditionen verwendet?

Die Dzogchen-Tradition

Carmen Meinerts Forschungsfokus im SFB liegt auf dem Gebiet des tibetischen Buddhismus. Ein besonderes Augenmerk legt sie auf die Tradition des Dzogchen, auch die „Große Vollkommenheit“ genannt, deren Ursprünge noch weitgehend unerforscht sind.

Ein Phänomen, für das sich Meinert in ihrer Auseinandersetzung mit buddhistischen Lichtmetaphern besonders interessiert, ist der sogenannte Regenbogenkörper, der in den Vorstellungen der tibetischen Dzogchen-Tradition auftritt.

i URSPRÜNGE DES BUDDHISMUS

Die Ursprünge des Buddhismus lassen sich in das vierte/fünfte vorchristliche Jahrhundert zurückverfolgen. Die Grundlage bilden die Lehren Siddhartha Gautamas, die sich von Indien aus nach ganz Asien und darüber hinaus ausbreiteten. Der Fokus von Meinerts Teilprojekt liegt auf dem tibetischen Buddhismus, seinen Traditionen und Lehren, die sich verschiedener Metaphern von Licht, Raum und Bewegung bedienen. Dazu zählt auch die Dzogchen-Lehre. Diese beschreibt den Weg der unmittelbaren Erkenntnis der ursprünglich vollkommenen Natur des Geistes, welche in der gewöhnlichen Wahrnehmung durch Verschleierungen des Geistes nicht als solche erkannt wird. Ein Hauptaugenmerk des tantrischen Buddhismus und auch der Dzogchen-Lehre liegt darauf, die Natur des Geistes zu erkennen. Im tantrischen Buddhismus werden auf dem Übungsweg dazu Ritualpraktiken vollzogen, während das Dzogchen oft durch objektlose Meditationen Übende anleitet, den natürlichen Zustand des Geistes, die Raumhaftigkeit, zu erkennen und darin zu verweilen.

Padmasambhava dargestellt als Regenbogenkörper. Padmasambhava war ein tantrisch buddhistischer Meister aus Indien, der im 8. Jahrhundert den tantrischen Buddhismus in Tibet begründet und maßgeblich beeinflusst hat.

(Bild: Himalayan Art Resources Inc. Images Provided Courtesy of Private Collections, HAR no. 31903, www.himalayanart.org/items/31903)

„Im Augenblick des Sterbens, so erläutern spätere Texte, sollen Übende, die zu Lebzeiten die Einsicht in die Natur des Geistes verwirklicht haben, den physischen Körper in Licht auflösen können, was als Erlangen des Regenbogenkörpers bezeichnet wird“, schildert Meinert.

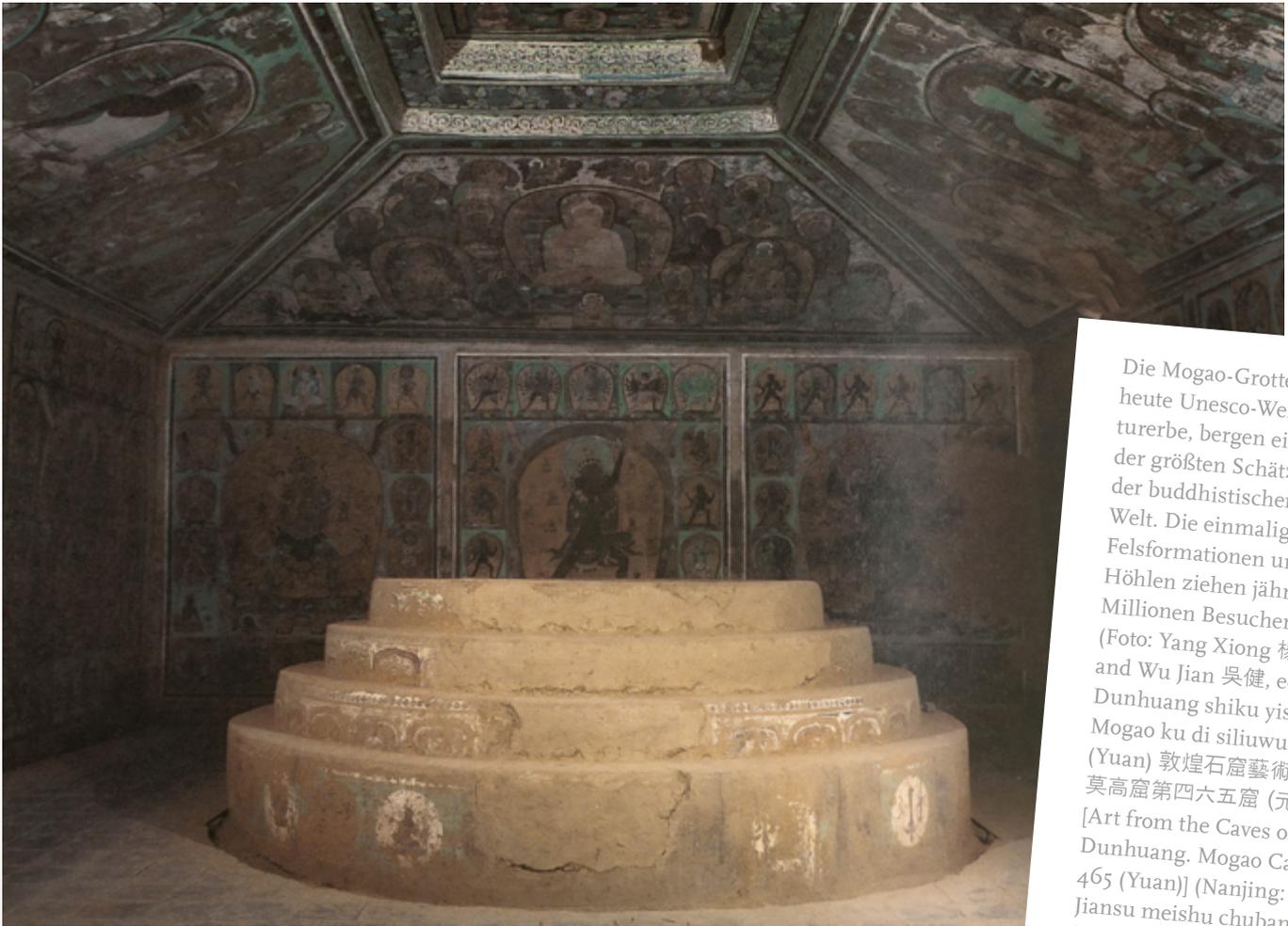
„Allerdings finden wir textliche Belege für diese Weiterentwicklung der Dzogchen-Tradition erst ab dem 13./14. Jahrhundert. Die frühesten Dzogchen-Texte bedienen sich eher einer Raummetaphorik, die Lichtmetaphorik scheint sich erst allmählich herauszubilden“, so Meinert. Es sei spannend zu sehen, wie neue, unterschiedliche semantische Felder zusammengebracht werden in Metaphern-Ketten und -Netzwerken, etwa Licht mit Klarheit, Reinheit oder gar physisch erfahrbare Wärme. Außerdem beobachtet die Wissenschaftlerin, wie in den Textpassagen Licht und Raum miteinander verbunden werden. „In Ausdrücken wie „the wisdom mind is like the light of the sky“ wird die Raumhaftigkeit des Geistes mit Licht verbunden“, erklärt die Forscherin.

Im Austausch mit Kolleg*innen, die im SFB zu Lichtmetaphern in anderen Religionen forschen, entdeckt sie spannende Gemeinsamkeiten und Unterschiede. „Im Zoroastrismus beobachtet man zum Beispiel, wie sich eine unbestimmte Vorstellung von Licht in den metaphorischen Dualismus von Licht und Dunkelheit weiterentwickelt“, weiß Meinert zu berichten, die derzeit an der Herausgabe mehrerer Artikel zum Thema „More Light on the Metaphors of Light“ in der SFB-eigenen Publikationsreihe „Metaphor Papers“ arbeitet.

Die identifizierten Metaphern fließen in einen gemeinsamen Thesaurus religiöser Metaphern, der Wissenschaftler*innen als wichtiges Werkzeug für weitere komparatistische Arbeiten dienen soll. So ergründen die Forschenden die großen religiösen Systeme und ihre Sinnbildung – Metapher für Metapher.

lb





Die Mogao-Grotten, heute Unesco-Weltkulturerbe, bergen einen der größten Schätze der buddhistischen Welt. Die einmaligen Felsformationen und Höhlen ziehen jährlich Millionen Besucher an. (Foto: Yang Xiong 楊雄, and Wu Jian 吳健, ed. Dunhuang shiku yishu. Mogao ku di siliuwu ku (Yuan) 敦煌石窟藝術. 莫高窟第四六五窟 (元) [Art from the Caves of Dunhuang. Mogao Cave 465 (Yuan)] (Nanjing: Jiansu meishu chubanshe, 1996), plate 3 (p. 34))



Carmen Meinert ist Professorin für Religionen Zentralasiens in Geschichte und Gegenwart. Ihr Schwerpunkt: Zentralasienkunde und Tibetologie. (Foto: tk)



Clara Saraceno entwickelt und erforscht Ultrakurzpulslaser. Sie vermögen rekordverdächtige Leistungen zu erzeugen.

Violett, Blau, Grün, Gelb, Orange, Rot: Das für uns sichtbare regenbogenartige Lichtspektrum stellt nur einen kleinen Teil des gesamten elektromagnetischen Spektrums dar. Terahertzstrahlen etwa bleiben dem menschlichen Auge verborgen. Die Bochumer Physikerin Prof. Dr. Clara Saraceno erzeugt sie mit eigens dafür entwickelten ultraschnellen Lasern. Im Interview spricht die gebürtige Argentinierin über die bahnbrechende Technologie der Ultrakurzpulslaser und ihre vielseitigen Einsatzgebiete.

Clara Saraceno, Sie arbeiten täglich mit Lasern. Inwiefern unterscheidet sich das Licht von Lasern vom Sonnenlicht oder Licht der Glühbirnen?

Eine Möglichkeit, sich Licht vorzustellen, ist als Wellen. Sonnenlicht oder das Licht, das von Glühbirnen ausgesendet wird, ist nicht kohärent. Es strahlt in verschiedene Richtungen, es streut also und man kann es nicht fein fokussieren.

Das Licht von Lasern hingegen ist kohärent: Es strahlt in einer bestimmten Wellenlänge. Wir sprechen von zeitlicher oder räumlicher Kohärenz, wenn die Strahlen zu bestimmten Zeitpunkten oder an bestimmten Punkten im Raum ähnliche Eigenschaften haben, wenn sie also in die gleiche Richtung strahlen und in der gleichen Phase schwingen. Man kann sich das wie eine Instrumentensaite vorstellen, die schwingt und immer das gleiche Muster aufweist.

Wenn man also einen Laser baut, zwingt man Licht künstlich dazu, kohärent zu werden. Was braucht man dazu?

Um Licht kohärent zu machen, verwendet man ein verstärkendes Medium, ein sogenanntes Lasermedium, und einen Resonator. Das Lasermedium ist zwischen zwei gegenüberliegenden Spiegeln positioniert. Den Aufbau Spiegel-Lasermedium-Spiegel bezeichnen wir als Laser-Resonator. Das Lasermedium dient zur Verstärkung des Laserlichtes. Als La-

Im Gespräch

LICHT WIE KEIN ANDERES

Ultraschnelle Laser sind in der Lage, die Zusammensetzung von Plasmen gezielt zu beeinflussen. Das revolutioniert nicht nur die Lichterzeugung.
(Foto: Robin Löscher, Photonics and Ultrafast Laser Science, RUB)

sermedium fungieren unterschiedliche Stoffe, beispielsweise Feststoffe mit bestimmten Eigenschaften.

In der Regel regen wir das Lasermedium mithilfe von anderen Lichtarten an. Die angeregten Atome geben Energie in Form von Licht ab. Der Lichtstrahl wird von den Spiegeln reflektiert und bewegt sich hin und her. Der Resonator sorgt dafür, dass nur Licht in einer bestimmten Richtung verstärkt wird. Einer dieser Spiegel ist nämlich durchlässig, sodass das Licht die Vorrichtung als Strahl verlassen kann. Der Laserstrahl weist eine besonders hohe Energiedichte auf und besteht in den meisten Lasern nur aus einer ganz bestimmten Wellenlänge.

In Ihrer Forschung konzentrieren Sie sich auf Ultrakurz-pulslaser. Wie funktionieren diese?

Ein Laserpointer strahlt in der Regel kontinuierlich. Es wird also ständig Licht abgegeben. Die Laser, mit denen wir arbei-

ten, strahlen hingegen nicht kontinuierlich, sondern geben extrem kurze Lichtpulse ab, die nur einige wenige Femtosekunden, also milliardstel Sekunden, dauern. Dadurch konzentriert sich die Laserenergie zeitlich extrem. So kann ein Laser bei einer relativ geringen Durchschnittsleistung eine sehr hohe Leistung in der Pulsspitze erreichen.

Von welcher Leistung sprechen wir?

Derzeit lassen sich im Labor Laser bauen, die mit diesen sehr kurzen Pulsen in der Spitze Leistungen wie ein Kernkraftwerk erreichen – also mehrere hundert Megawatt bis hin in den Gigawattbereich. Die in unseren Experimenten verwendeten Femtosekundenlaser verfügen üblicherweise über solche Spitzenleistungen, haben jedoch die besondere Eigenschaft, sehr viel mehr dieser Pulse pro Sekunde zu erzeugen; das heißt, die einzelnen Pulse folgen zeitlich äußerst dicht aufeinander.

i TERAHERTZ

Der Terahertz-Bereich (THz) liegt im elektromagnetischen Spektrum zwischen Mikrowellen und Infrarotstrahlung. Ein THz entspricht etwa 1.000 Gigahertz (1 Gigahertz sind 1.000.000.000 Hertz) und damit einer Billion Schwingungen in der Sekunde. Die Wellenlängen im THz-Bereich messen 1 Millimeter bis 0,03 Millimeter.

THz-Strahlen sind für den Menschen unschädlich. Sie können viele Materialien wie Papier, Kunststoffe und Holz durchdringen. Metalle und Wasser hingegen sind für THz-Strahlen undurchlässig.

In welchen Bereichen werden die Ultrakurzpuls-Laser eingesetzt?

Diese ultrakurz gepulsten Laser vermögen besonders präzise Materialien zu bearbeiten. Sie kommen etwa in der Arbeit mit Mikrochips oder bei Feinbohrungen zum Einsatz. Darüber hinaus, davon ist ja auch viel zu lesen, werden sie vielfach in der Medizin angewendet, in der Chirurgie, etwa bei Augenoperationen.

Und natürlich kommen diese Ultrakurzpuls-Laser in einer Reihe verschiedenster Forschungseinrichtungen zum Einsatz. In der National Ignition Facility in den USA versucht man, mit diesen Lasern extreme Plasmasituationen zu erzeugen, wie sie in der Sonne oder in den Sternen vorkommen.

Woran forschen Sie konkret?

An meinem Lehrstuhl arbeiten wir zum Einen daran, die Technologie von Femtosekundenlasern voranzutreiben. Unser Ziel ist es, neue ultraschnelle Lasersysteme mit höherer Durchschnittsleistung zu entwickeln, also intensive Pulse, die sehr häufig hintereinander auftreten. Dazu erforschen wir unter anderem neue Materialien zur Laserverstärkung oder Mechanismen zur Pulserzeugung.

Wofür verwenden Sie die leistungsstarken Laser?

Man kann die Ultrakurzpuls-Laser auf unterschiedliche Materialien anwenden. Eine Besonderheit der Femtosekundenpulse ist, dass man damit die meisten Materialien nichtlinear antreibt. Das bedeutet, dass auch noch andere Wellenlängen erzeugt werden können. Zum Vergleich: Richtet man einen Laserpointer mit geringer Leistung auf ein Stück Glas, kommt auf der anderen Seite Licht derselben Farbe heraus; es geht lediglich ein Teil der ursprünglichen Leistung verloren.

Wird die Leistung jedoch hoch genug, können neue Farben erzeugt werden. Für bestimmte Anwendungen – etwa in der Materialbearbeitung, Bildgebung oder Spektroskopie – benötigt man allerdings Licht in anderen Spektralbereichen, als normale Laser üblicherweise bereitstellen. Meine Gruppe konzentriert sich derzeit darauf, mit den Ultrakurzpuls-Lasern den Terahertz-Bereich des elektromagnetischen Spektrums zu erreichen.

Wie gehen Sie vor?

Einer unserer Ansätze ist es, Plasmen, also energetisch angeregte Gase, als Terahertz-Quellen zu verwenden. Plasmen sind sehr effizient und könnten viele der Probleme beseitigen, die wir mit Kristallen und Festkörperquellen haben.

Warum Plasma? Wie sind Sie auf die Idee gekommen? Sie sind keine Plasmaphysikerin.

Wir sind ganz zufällig darauf gestoßen. Wir waren genervt, weil die Kristalle, die wir sonst in unseren Experimenten viel verwenden, schnell Schaden nehmen. Und so haben wir angefangen, uns mit Plasma und der Physik dahinter zu beschäftigen.

Weil wir uns auf die Erzeugung einer großen Zahl hochintensiver, zeitlich sehr dicht aufeinanderfolgender Pulse spezialisiert haben, erkannten wir schnell, dass sich das Plasma mit der Pulsanzahl und dem Abstand zwischen den Pulsen verändert und dabei neue Plasmazustände entstehen. Genau das untersuchen wir in unserem vom Europäischen Forschungsrat ERC geförderten Projekt: wie sich mithilfe von Lasern zuvor nicht erreichbare Plasmazustände erzeugen lassen.

i ERC GRANT

Saraceno entwickelt ultraschnelle Laser zur Einstellung der Zusammensetzung von Plasmen. Das revolutioniert die Lichterzeugung, aber auch andere Bereiche. Das Projekt wird seit 2024 vom Europäischen Forschungsrat ERC mit einem Consolidator Grant gefördert und läuft fünf Jahre. Der Grant ist mit 2,2 Millionen Euro dotiert.

Sie betreten also Neuland. Wie läuft es?

Energiepuls für Energiepuls versuchen wir die chemische Zusammensetzung des Plasmas zu verändern. Wir studieren die Plasmachemie und die physikalischen Eigenschaften. Das ist wirklich faszinierend – die Anwendung des Lasers als Energiequelle eröffnet eine neue Physik. Wir hoffen, dass es uns gelingen wird, die Plasmaeigenschaften so anzupassen,

dass wir am Ende mit den verbesserten Plasmen Terahertzstrahlung von bisher unerreichter Leistung erzeugen können.

Was fasziniert Sie an Ihrer Arbeit besonders?

Es ist bereits viel darüber bekannt, wie kohärentes Licht erzeugt wird. Aber diese Erzeugungsmechanismen verändern sich deutlich, sobald man mit extremen Pulsparametern arbeitet. Letztendlich untersuchen wir also auch, wie sich die physikalischen Mechanismen der Erzeugung von Terahertzstrahlung im Vergleich zu dem, was bisher bekannt war, verändern.

Wir konzentrieren uns dabei nicht so sehr auf eine bestimmte Technik, sondern eher auf den Parameterbereich, mit dem wir das Gerät anregen. Manchmal ist es ein Halbleiter, manchmal ein Kristall, manchmal ein Plasma – es ist also ein sehr breites Spektrum. Und all unsere Methoden basieren auf völlig unterschiedlichen physikalischen Prinzipien. Einige stammen aus der Plasmaphysik, andere aus der Festkörperphysik und so weiter. Das ist superspannend.

Prof. Dr. Clara Saraceno, Professorin für Photonik und Ultrakurzpuls laser an der Ruhr-Universität Bochum, will neue Wege gehen. (Foto: RUB, Marquard)



i DIE ANFÄNGE

Die Erfindung des Lasers geht auf die frühen 1960er-Jahre zurück; Ultrakurzpuls laser waren erst in den 1990er-Jahren breit verfügbar. Seit 2010 kommen Ultrakurzpuls laser mit immer höherer mittlerer Leistung sowohl in der Wissenschaft als auch in der Industrie zum Einsatz.

Wohin geht die Reise? Wird der ultraschnelle Laser die Wissenschaft revolutionieren?

Die Laser, mit denen wir arbeiten, sind noch so neu, dass sie noch nicht wirklich häufig eingesetzt werden.

In Bochum wollen wir mit unserer Forschung zu den leistungsstarken Lasern ein neues Gebiet erschließen, das Plasma-, Material-, Chemie- und Laserforschung miteinander verbindet. Wir hoffen, mit unserem Ansatz die Grenzen der THz-Technologie zu erweitern.

Die neue Lasertechnologie würde nicht nur die Lichterzeugung revolutionieren, sondern auch enorme Auswirkungen auf viele weitere Bereiche haben, zum Beispiel die Atmosphärenforschung. Schon jetzt sind Forschende dabei, zu überlegen, wie die Laser möglicherweise Wolken erzeugen oder Entladungen herbeiführen können. Das ist wirklich supercool.



Im Laser wird das Licht von Spiegeln reflektiert und läuft zwischen ihnen hin und her; einer der Spiegel ist teildurchlässig, sodass das Licht als Strahl aus dem Gerät austreten kann. (Foto: RUB, Marquard)



Saracenos Forschungsgruppe konzentriert sich darauf, mit Ultrakurzpuls lasern den Terahertzbereich des elektromagnetischen Spektrums zu erschließen. (Foto: RUB, Marquard)

IM AUGE DES PLASMA-STURMS

Mithilfe von Plasmen wollen Forschende die Produktion von Wasserstoff und Stahl umweltfreundlicher machen. Schlüssel zum Erfolg ist ein Tornado, den sie im Labor erzeugen.

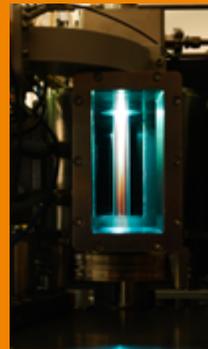
Man könnte meinen, dass es im Labor der Bochumer Physik turbulent zugeht. Von mehreren Tausend Grad Celsius und Tornados ist dort die Rede. Mit dem Klima hat das alles aber nichts zu tun. Stattdessen finden sich in den Räumen allerhand metallische Apparaturen, in denen kleine Fenster den Blick auf bunt lodernde Lichter freigeben. Was dort in den handlich auf einen Tisch passenden Reaktoren leuchtet, sind Plasmen. Und die sind wahre Alleskönner. Man kann sie verwenden, um OP-Besteck zu sterilisieren, Displays zum Leuchten zu bringen oder energieintensive industrielle Prozesse zu realisieren.

An der Ruhr-Universität Bochum arbeitet das Team vom Lehrstuhl für „Experimentalphysik, insbesondere Physik reaktiver Plasmen“ daran, den Energieträger Wasserstoff klimaschonend herzustellen und diesen Wasserstoff dann wiederum für die Produktion von grünem Stahl zu verwenden – mithilfe von Plasmen.

Der sogenannte graue Wasserstoff wird aus Methanhaltigem Erdgas mittels Dampfreformierung gewonnen, dabei fallen riesige Mengen Kohlendioxid (CO_2) an. Eine umweltfreundlichere Variante ist, Wasserstoff durch die Spaltung von Wasser mit elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen zu erzeugen. „Dann spricht man von grünem Wasserstoff“, sagt Prof. Dr. Achim von Keudell, Leiter des Lehrstuhls für Experimentalphysik. „Dieses Verfahren ist aber ineffizient.“

Seine Gruppe forscht daher an einem Zwischending: türkischem Wasserstoff. Dieser wird wie der graue Wasserstoff ebenfalls aus Methan gewonnen, aber mit einem anderen chemischen Verfahren, der Methan-Pyrolyse. „Dabei wird Methan so stark erhitzt, dass es in Wasserstoff und Kohlenstoff gespalten wird“, erklärt von Keudell. Der Kohlenstoff fällt in fester Form an, nicht wie beim grauen Wasserstoff als gasförmiges Kohlendioxid.

„Kohlenstoff ist aber nicht gleich Kohlenstoff“, führt Achim von Keudell weiter aus. „Wenn er als langweiliges ▶



Mit einem verwirbelten Plasma lässt sich Eisenerz ohne Hochofen in Eisen umwandeln – und das mit viel geringerem CO_2 -Fußabdruck.

i PLASMEN

Plasmen werden oft als vierter Aggregatzustand neben fest, flüssig und gasförmig bezeichnet. Sie entstehen, wenn einem Gas so viel Energie zugeführt wird, dass es teilweise ionisiert wird, also dass sich positive und negative Ladungen trennen. Natürlicherweise kommen Plasmen auf der Erde selten vor; wenn es heiß genug ist, können sie beispielsweise in Feuer entstehen. Aber betrachtet man das gesamte Universum, liegt der Großteil der sichtbaren Materie im Plasmazustand vor. Sterne beispielsweise sind riesige Plasmabälle.



Plasmen werden mehrere
tausend Grad heiß. Diese
Energie lässt sich für
verschiedene chemische
Reaktionen nutzen.

Brikett da liegt, kann man ihn eigentlich nur anzünden oder zurück in das Bergwerk einlagern. Es gibt aber auch hochwertige Kohlenstoff-Stäube, die Ausgangsstoff für die Industrie sind.“ Sie finden sich in unterschiedlichen Produkten wie Drucker-Toner oder Autoreifen wieder.

Erzeugt man türkisen Wasserstoff mithilfe von Plasmen fällt als Nebenprodukt Kohlenstoff-Staub an. „Das macht das Verfahren wirtschaftlich interessant“, verdeutlicht Achim von Keudell. In seinem Team entwickelte Dr. Simon Kreuznacht während seiner Promotion ein Plasma für diesen Prozess.

Plasmen können mehrere tausend Grad heiß werden. Die für die Methan-Pyrolyse erforderlichen Temperaturen werden so leicht erreicht. „Man muss eher aufpassen, dass das Plasma nicht zu heiß wird, sodass der Reaktor schmilzt“, skizziert von Keudell die Herausforderung. Um das zu verhindern, verwendete Simon Kreuznacht eine Wirbelströmung: das Tornadoplasma. Das Gas, aus dem das Plasma erzeugt wird, wird beim Eintritt in den Reaktor verwirbelt und dann durch Mikrowellenstrahlung erhitzt. Es entsteht ein Plasmatornado mit einer 3.500 bis 5.500 Grad Celsius heißen Zone im Zentrum und einer kühleren Randzone. Wobei die kühlere Zone immer noch rund 1.700 Grad Celsius warm ist. Während im heißen Zentrum die Pyrolyse stattfindet und Wasserstoff entsteht, sind die Temperaturen im äußeren Bereich des Tornados ideal für die Produktion von Kohlenstoff-Stäuben.

Das Tornadoplasma ist aber auch für andere Prozesse nützlich, zum Beispiel für die Produktion von grünem Stahl. Ausgangsstoff für die Stahlproduktion ist Eisenerz. Darin liegt das Eisen in Form von sauerstoffhaltigen Eisenoxiden vor. Um daraus Eisen zu gewinnen, muss das Eisenerz reduziert werden: Es müssen Elektronen von einem anderen Stoff, dem Reduktionsmittel, auf das Eisenerz übertragen werden, wobei der Sauerstoff herausgelöst wird. Üblicherweise kommt Kohlenstoff in Form von Koks als Reduktionsmittel zum Einsatz. Mit dem Sauerstoff aus dem Eisenerz bildet es klimaschädliche Abfallprodukte wie Kohlendioxid oder Kohlenmonoxid. Statt Koks kann man allerdings auch Wasserstoff als Reduktionsmittel verwenden; als Abfallprodukt entsteht dann Wasser.

Neben einem gut funktionierenden Reduktionsmittel braucht es eine weitere entscheidende Zutat: jede Menge Energie. Hier kommt das Plasma ins Spiel. Doktorand Jonas Thiel optimiert derzeit das Tornado-Mikrowellen-Plasma für die Stahlproduktion, unterstützt von der Max Planck Re-

search School for Sustainable Metallurgy. Wasserstoffhaltiges Plasmagas wird so verwirbelt, dass wieder ein Plasmatornado entsteht. Das Eisenerz wird als Pulver in die Mitte des Tornados eingeblasen und in ein Quarzrohr geleitet. Dort wird es durch Mikrowellenstrahlung angeregt und erhitzt, sodass das Wasserstoffgas in den Plasmazustand übergeht. Im Zentrum des Plasmatornados wird das Eisenoxid aus dem gemahlene Eisenerz zu Eisen umgesetzt, das später als Legierung mit weiteren Elementen den Stahl bildet. Im Gegensatz zu anderen Hochöfen bringt der Plasmaprozess besonders hochwertigen Stahl hervor.

Im Prinzip funktioniert das Verfahren bereits. Jonas Thiel ist nun mit dem Finetuning beschäftigt. Denn anders als im Hochofen lassen sich bei einem Plasmareaktor zahlreiche Eigenschaften präzise einstellen, um die darin stattfindende Reaktion zu beeinflussen. „Aktuell stehen wir vor der Herausforderung, dass das Quarzrohr, in dem sich das Plasma befindet, nach einer Weile mit dem entstehenden Metall beschichtet wird“, sagt Jonas Thiel. Das Eisen wird durch den Tornado wie in einem Karussell nach außen getragen und setzt sich auf der Quarzwand ab. „Wenn das passiert, müssen wir den Prozess anhalten und schrubben“, erzählt Jonas Thiel.

Mit verschiedenen Messmethoden kann die Bochumer Gruppe die Temperaturverteilung im Plasmareaktor sichtbar machen und den Lebensweg der Eisen- und Eisenoxid-Teilchen im Detail nachvollziehen: Die Forschenden ermitteln, wo welche Teilchen umgewandelt werden und wie die chemischen Prozesse von der Größenverteilung der Eisenerz-Partikel abhängen. Künftig wollen sie testen, was passiert, wenn sie die Eisenerz-Partikel unterschiedlich lang im Wasserstoff-Plasma behandeln oder bei leicht unterschiedlichen Temperaturen. So nähern sie sich den optimalen Bedingungen für den Prozess an.

Beim Austarieren hilft ihnen auch das bunte Leuchten des Plasmas, denn darin sind allerhand Informationen enthalten. Die Physikerinnen und Physiker stellen es in Form eines Spektrums dar, welches angibt, bei welchen Wellenlängen das Plasma wie intensiv leuchtet. Bestimmte Elemente oder Moleküle senden Licht bestimmter Wellenlängen aus, sodass das Spektrum den Forschenden verrät, welche Teilchen sich im Plasma befinden. So ist das Leuchten nicht nur Deko im Labor, sondern eine entscheidende Informationsquelle für die Weiterentwicklung der Prozesse, die die Industrie nachhaltiger machen könnten.

” DAS MACHT DAS VERFAHREN WIRTSCHAFT- LICH INTERES- SANT. “

Achim von Keudell



Moritz Petersen kümmert sich um ein Quarzrohr, das im Versuch unerwünschterweise mit Metall beschichtet wurde.



Jonas Thiel (links) und Achim von Keudell (rechts) optimieren die Tornado-Plasma-Technik für verschiedene Anwendungen.



Je nach Anwendung kommen in den Bochumer Laboren unterschiedliche Plasmareaktoren zum Einsatz.

Zwei Milliarden Menschen weltweit kochen täglich auf offenem Feuer.
(Foto: Adobe Stock, Jasmin Merdan)

Entwicklungsforschung

„DIE MENSCHEN SIND EINFACH GLÜCKLICHER“

Solarstrom kurbelt in ländlichen Gegenden mit niedrigem Pro-Kopf-Einkommen die Wirtschaft an und verbessert den Alltag. Besonders Frauen profitieren.



” ES GIBT KEINE VERLIERER.“ “

Elkhan Richard Sadik-Zada

Eine warme Mahlzeit – dafür feuern rund zwei Milliarden Menschen weltweit täglich den Herd an. Und zwar buchstäblich. Sie kochen auf offenem Feuer, in dem Holz, Kohle, Tierdung oder Kerosin verbrennt. „Das setzt pro Jahr ungefähr eine Gigatonne CO₂ frei“, sagt Dr. Elkhan Richard Sadik-Zada. Für den Entwicklungs- und Energieökonom vom Institut für Entwicklungsforschung und Entwicklungspolitik (IEE) und dem Centrum für Umweltmanagement, Ressourcen und Energie (CURE) bildete diese Erkenntnis den Ausgangspunkt für verschiedene Forschungsprojekte auf mehreren Kontinenten, die sich mit der Nachhaltigkeit der Versorgung durch Solarstrom befassen.

In ländlichen Gegenden Kambodschas, Sierra Leones, Ugandas, im Pamir-Gebirge in Zentralasien und in ehemaligen Kriegsgebieten im Norden Syriens gibt es keine zentrale Stromversorgung. In Syrien existierte eine solche Infrastruktur einst, wurde jedoch durch den Krieg zerstört. Hier leben die Ärmsten der Armen häufig von dem, was sie für den Eigenbedarf im Rahmen der sogenannten Subsistenzwirtschaft selbst anbauen können.

Was Strom im täglichen Leben verändert

Im Rahmen der internationalen Entwicklungszusammenarbeit wird die Elektrifizierung solcher Regionen unterstützt. In ländlichen Gebieten und insbesondere in abgelegenen und gebirgigen Regionen von einkommensschwachen Ländern kann Elektrifizierung oftmals nur durch dezentrale netz unabhängige Solartechnologien erreicht werden. „Solche Systeme liegen typischerweise in Form von gemeinschaftsbasierenden Mini Grids vor, die ganze Dörfer mit Strom versorgen können, oder als eigenständige Photovoltaikanlagen mit integrierten Batteriespeichern für einzelne Haushalte“, erläutert Sadik-Zada.

Wie wirkt sich diese Stromversorgung auf das Leben der Menschen in den Dörfern aus? Senkt sie wirklich den CO₂-Ausstoß durchs Kochen? Hat sie darüber hinaus weitere Einflüsse? Um diese Fragen zu beantworten, führte das Team Feldforschungsinterviews mit Haushalten in ländlichen Regionen durch. Masterstudierende erheben

die Daten in der Regel vor Ort. „Da wir keinen Vorher-Nachher-Vergleich machen konnten, vergleichen wir Gemeinden, die sich in den wesentlichen Punkten ähnlich sind, jedoch teils mit Solarstrom versorgt wurden und teils nicht“, erklärt Sadik-Zada.

Ein Dorf umfasst in der Regel zwischen 100 und 350 Personen. Mit einem statistischen Verfahren werden Ansprechpersonen in den Dörfern gematcht, sodass ihre Aussagen vergleichbar sind.

„Es ist beeindruckend, welche Wirkung die Elektrifizierung auf das tägliche Leben der Bevölkerung hat“, sagt Elkhan Sadik-Zada mit Blick auf die Ergebnisse. „Das fängt schon bei der Landwirtschaft an.“ Elektrizität ermöglicht es subsistenzwirtschaftlich orientierten kleinbäuerlichen Haushalten, elektrische Pumpen zu betreiben und Grundwasser zur Bewässerung ihrer Felder zu nutzen. Das mindert einerseits die Auswirkungen des Klimawandels wie längerer Dürreperioden. Andererseits eröffnet es den Haushalten die Möglichkeit, etwas mehr anzubauen, als sie für ihren Eigenbedarf benötigen, und einen Teil ihres Ertrags auf dem Markt zu verkaufen. Das wiederum erhöht das Einkommen der Familien und trägt zudem zur Modernisierung überkommener landwirtschaftlicher Techniken bei.

Die Verfügbarkeit von elektrischem Licht macht es darüber hinaus möglich, kleine Shops abends länger geöffnet zu halten. Frisörgeschäfte oder kleine Lebensmittelläden können somit besser wirtschaften und werfen mehr Profit ab. „Im Durchschnitt konnten wir feststellen, dass das Einkommen der Familien in Dörfern durch Solarstrom um 15 bis 20 Prozent steigt“, berichtet Sadik-Zada.

Besonders stark profitieren den Studien zufolge Frauen von der Elektrifizierung. Denn sie sind es, die bis zu zwei Stunden täglich damit verbringen, Brennstoff für das Herdfeuer zu sammeln. Sie sind es, die häufig im Haus neben dem rauchenden Herd stehen und Augen- und Atemwegsprobleme entwickeln. „Durch das Kochen auf einem Elektroherd entfällt diese gesundheitliche Belastung, und es bleibt mehr Zeit für anderes“, so Sadik-Zada. „In der gesparten Zeit stellen viele Frauen handwerkliche Produkte her, die sie wiederum



Elkhan Richard Sadik-Zada ist überzeugt: Solarstrom in Entwicklungsländern bewirkt nur Gutes. (Foto: RUB, Marquard)



Zu den Dörfern, in denen die Forschenden Interviews durchführten, gehörten unter anderem Ortschaften in Sierra Leone. (Foto: Privat)

auf dem Markt verkaufen und ihr Einkommen verbessern können. Oder sie nutzen die Zeit dafür, zu lernen und sich selbstständig zu machen.“ Nachweislich führt die elektrische Beleuchtung auch dazu, dass Kinder im Durchschnitt mehr Zeit aufwenden, um für die Schule zu lernen.

Kryptowährungen brauchen Strom

„Und noch ein wichtiges wirtschaftliches Feld wird durch die Elektrifizierung beeinflusst“, so Sadik-Zada. „Die Finanzflüsse.“ Denn rund eine Milliarde Menschen weltweit hat kein Bankkonto. Das ist ein Hindernis für den wirtschaftlichen Aufschwung. „In Afrika zum Beispiel ist aber die Bezahlung mit Kryptowährungen per Handy sehr verbreitet“, berichtet der Forscher. „Nur benötigt man natürlich Strom, um ein Handy betreiben zu können.“ Die Solarstromversorgung könnte die Möglichkeit des Bezahls mit dem Smartphone auf die ländlichen Gebiete ausweiten und wäre somit eine Chance für die Entwicklung des Finanzwesens.

Und was ist mit dem Kochen, dem eigentlichen Stein des Anstoßes für die Studien? Bis zu 80 Prozent der Menschen in den mit Solarstrom versorgten Dörfern kochen elektrisch. Die übrigen bleiben lieber bei offenem Feuer, weil sie es so gewöhnt sind oder das Essen dann leckerer finden. „Damit ist eine große CO₂-Einsparung offenbar möglich“, sagt Sadik-Zada. „Aber damit enden die allumfassenden positiven Einflüsse der Elektrifizierung nicht. Sie macht die Menschen auch einfach glücklicher.“ Und laut den Ergebnissen der Studien bleiben sie



Kochen auf offenem Feuer setzt jede Menge CO₂ frei. (Foto: Adobe Stock, Dennis)

es auch, ohne abhängig von der Entwicklungszusammenarbeit zu bleiben. „In der Phase nach der Implementierung ist es jedoch wichtig, dass es im Dorf jemanden gibt, der für die Wartung und Reinigung der Solaranlage verantwortlich ist“, sagt Sadik-Zada. Denn die Panele verstauben und büßen an Leistungskraft ein. Ist das aber gegeben, ist nach drei bis fünf Jahren keine Subventionierung mehr nötig, und die Solaranlagen können mit einer Lebensdauer von rund 30 Jahren lange für wirtschaftlichen Aufschwung sorgen.

„Die solare Off-Grid-Elektrifizierung führt nicht automatisch und nicht schlagartig zu wirtschaftlichem Aufschwung und Modernisierung“, schränkt Sadik-Zada ein, der aufgrund dieser Studien in den Top-1-Prozent der Stanford-Liste der meistzitierten Wirtschaftswissenschaftler steht. „Es ist jedoch ein Licht am Ende des Tunnels – und zwar bezogen auf die Resilienz der Lebensgrundlagen der verletzlichsten Bevölkerungsgruppen in den ärmsten Ländern der Welt.“ Gut durchdacht und fair konzipiert sei die Solarelektrifizierung im Sinne der wirtschaftlichen Entwicklung Afrikas und anderer Regionen. Durch die Nachfrage nach Solarpanelen in den Entwicklungsländern, die in den Industrie- und Schwellenländern hergestellt werden, profitieren mittel- bis langfristig auch diese davon. „Es gibt keine Verlierer! Elektrifizierung, die häufig erst durch Entwicklungszusammenarbeit initiiert wird, schafft Nettovorteile für Empfänger wie auch Geberländer“, sagt er.

md

ZWISCHEN GLANZ UND GIER

Bevor die Europäer nach Mittelamerika kamen, trug man dort traditionellen Metallschmuck. Das wenige, was die Seefahrer übriggelassen haben, fasziniert Forschende noch heute.

Grimmig sieht er aus, fast ein wenig furchteinflößend. Was ist er eigentlich? Ein Drache? Oder Krokodil? Von der Körperhaltung eher ein Mensch. Mischwesen wie diese zierten vor Hunderten von Jahren die Gewänder und Körper der Menschen in Mittelamerika, zusammen mit kleinen Glöckchen und goldenen Scheiben von der Größe eines Frühstückstellers. Auch wenn die Jahre ihre Spuren auf den Gegenständen hinterlassen haben, kann man erahnen, wie sie gegläntzt haben müssen, wenn ihre glatt polierte Oberfläche das Licht der Sonne reflektierte. „Der Goldschmuck diente dazu, ihr Gegenüber zu blenden oder ihnen zu imponieren“, sagt Prof. Dr. Sabine Klein, Expertin für Archäometallurgie am Deutschen Bergbau-Museum und Professorin am Institut für Archäologie der Ruhr-Universität Bochum. „Kolumbus beschrieb die Scheiben als goldene Spiegel.“

In der Fachsprache ist von präkolumbischem Gold die Rede, womit auch erklärt ist, was mit den Schmuckstücken nach der Ankunft der Seefahrer passierte: präkolumbisch, also vor Christoph Kolumbus, wobei die Betonung auf „vor“ liegt. Denn die Entdeckung von Mittelamerika bereitete dem Goldschmuck ein jähes Ende. „Wir finden Objekte aus den Jahren 700 bis 1500“, erklärt Dr. Katrin Westner, Postdoktorandin am Deutschen Bergbau-Museum Bochum – Leibniz-Forschungsmuseum für Georesourcen. „Mit der Ankunft der Spanier ging die Tradition schnell verloren, weil Schmuckstücke systematisch eingesammelt und eingeschmolzen wurden“, so Westner weiter.

Aber einige von ihnen überdauerten die Gier der Seefahrer und sind heute in Museen zu finden, etwa im Museo Nacional de Costa Rica in San José. Welche Rohstoffe für die Fertigung der Anhänger verwendet wurden und

wo die Materialien herkamen, interessiert Sabine Klein und Katrin Westner ebenso wie die genutzten Herstellungsverfahren. Die beiden sind Teil des Forschungsprojekts „Präkolumbisches Gold und Kupfer in Costa Rica“, das von Sabine Klein zusammen mit Prof. Dr. Andreas Schäfer von der Universität Bamberg geleitet wird.

Um die Entstehung der Schmuckstücke zu rekonstruieren, analysierte das Projektteam zum einen Objekte in Museen. Zum anderen begaben sich die Forscherinnen und Forscher ins Gelände, um die Quellen der verwendeten Rohstoffe aufzuspüren. „Die Objekte sehen zwar auf den ersten Blick golden aus, aber oft handelt es sich um Legierungen aus Kupfer und Gold“, erklärt Katrin Westner. „Manche sind aber auch aus reinem Kupfer oder reinem Gold.“

Von 2023 bis 2025 verbrachte das Projektteam jedes Jahr mehrere Wochen in Costa Rica. „Vor Ort haben wir die wichtigsten Regionen identifiziert, wo die Rohstoffe für die

Schmuckstücke gewonnen worden sein könnten“, erzählt Westner. Im ganzen Land suchten die Forschenden mithilfe von Kollegen der Universität Costa Rica nach Orten, an denen Rohstoffvorkommen so offensichtlich sind, dass sie auch vor Hunderten von Jahren schon bekannt gewesen sein könnten. Oder nach Orten, in denen seit Langem Bergbau in kleinem Maßstab in Handarbeit betrieben wird.

Im Norden von Costa Rica fanden sie goldhaltige Gänge, in denen das Edelmetall bergbaulich gewonnen wird. Im Zentrum des Landes existieren Kupferlagerstätten, in denen die eingelagerten Erze die Oberfläche grün verfärben. Im Süden wiederum finden sich Kiesel mit offensichtlicher Kupferfärbung und Seifengoldstätten, in denen auch heute noch Gold gewaschen wird. „Dank un-

” DER GOLD-
SCHMUCK
DIENTE DAZU,
IHR GEGEN-
ÜBER ZU BLEN-
DEN ODER
IHNEN ZU IM-
PONIEREN. “

Sabine Klein



Mischwesen aus verschiedenen Tieren mit menschlichen Zügen waren ein beliebtes Schmuckstück im präkolumbianischen Costa Rica. (Museo del Oro Precolombino, Inventar-nummer BCCR-O-1250. Foto: Andreas Schäfer, Universität Bamberg. Bildbearbeitung: Elias Welk, Universität Bamberg)



Von links: Prof. Dr. Sabine Klein, Kooperationspartner Prof. Dr. Guillermo Alvarado Induni von der Universität in San José, Costa Rica, und Dr. Katrin Westner (Foto: tk)

serer Kooperationspartner vor Ort waren wir viel mit Einheimischen unterwegs, durften Stollen besichtigen oder selbst das Goldwaschen probieren“, erzählt Katrin Westner.

Überall nahmen die Bochumer Forscherinnen Proben, die sie anschließend im heimischen Labor mikroskopisch und spektroskopisch analysierten, um die genaue Zusammensetzung der Erze zu ermitteln. Diese wollen sie später mit der Zusammensetzung der Schmuckstücke vergleichen, um Hinweise darauf zu erhalten, aus welcher Quelle die Rohstoffe für die Gegenstände gekommen sein könnten.

Mobile Tests und Proben für das Bochumer Labor

An die Daten für die musealen Objekte heranzukommen, ist aber gar nicht so leicht. Gewisse Analysen können Katrin Westner und Sabine Klein mit tragbaren Messinstrumenten direkt vor Ort vornehmen. „Mit einem Digitalmikroskop können wir beispielsweise die Struktur untersuchen und herausfinden, ob ein Gegenstand aus flüssigem Metall gegossen wurde oder aus festen Metallkörnern gehämmert wurde“, erklärt Westner. Auch Grobanalysen der Zusammensetzung sind mit einem mobilem Röntgenfluoreszenzgerät möglich. Um aber ortsaufgelöst und präzise herauszufinden, aus welchem Elementemix ein Schmuckstück besteht, muss die Analyse im Bochumer Labor stattfinden. „Bei uns können wir Zusammensetzungen im Spurenelement-Bereich entschlüsseln, wir detektieren also Kleinstmengen, die wenige Gramm pro Tonne ausmachen“, veranschaulicht Sabine Klein.

Für 30 Objekte werden solch detaillierte Analysen möglich sein. „Die Museen bringen uns ein großes Vertrauen entgegen“, zeigt sich Sabine Klein dankbar. „Für unsere Arbeit benötigen wir ein etwa fingernagelgroßes Stück des Objekts, das dabei zerstört wird. Natürlich geben Museen ihre Fundstücke dafür nicht gern her.“ Für jede Probe durchlaufen die Forscherinnen zunächst ein Genehmigungsverfahren, in dem sie vorab exakt beschreiben müssen, welches Stück von welchem Objekt sie untersuchen wollen. „Wir wählen natürlich nur Fundstücke aus, die sowieso beschädigt oder zerbrochen sind“, schränkt Sabine Klein ein.

In den Laboren der Universität Costa Rica durften sie sogar zwei komplett erhaltene Museumsobjekte unter die Lupe nehmen – zerstörungsfrei und unter Aufsicht. „Die beiden Objekte wurden von zwei Mitarbeitern des Museums ins Labor gebracht“, erinnert sich Katrin Westner. „Während der Analysen sind uns die Mitarbeiter nicht von der Seite gewichen und haben die Stücke anschließend direkt wieder mitgenommen.“

Noch wird es etwas dauern, bis die finalen Daten aus dem Projekt vorliegen. Aber dann erhoffen sich die Forschenden aus Bochum und Bamberg neue Erkenntnisse über die Fertigung von präkolumbischem Gold – auch über Ländergrenzen hinweg. Manche Schmuckstücke stehen im Verdacht, aus anderen mittelamerikanischen Ländern importiert worden zu sein, vor allem die aus reinem Kupfer. Denn nicht nur in Costa Rica beeindruckte man mit Metallschmuck.



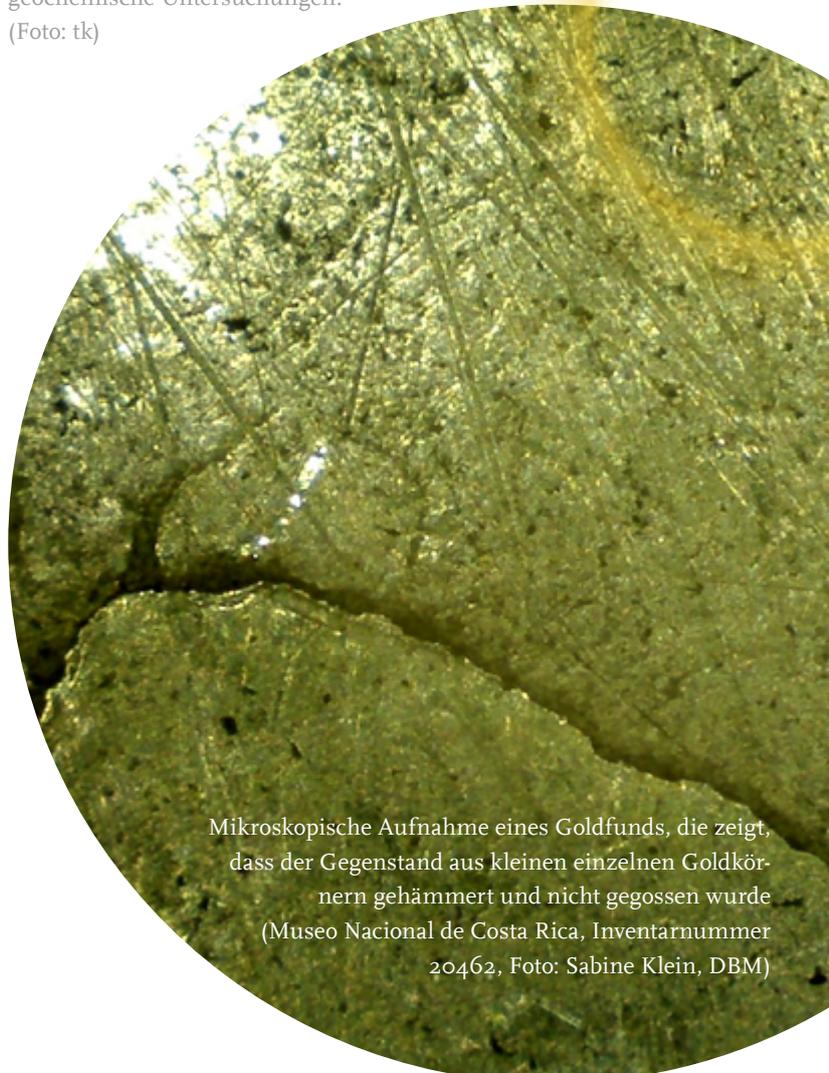
Wissenschaftliche Arbeiten geben Hinweise darauf, dass die Menschen in der Region die Goldscheiben in die Sonne legten, weil sie glaubten, sie würden die Sonnenkraft dadurch aufsaugen. (Museo Nacional de Costa Rica, Inventarnummer 27625. Foto: Andreas Schäfer, Universität Bamberg)



Mikroskopische Präparate, sogenannte Anschliffe, von Proben, die Sabine Klein und Katrin Westner von präkolumbischen Metallobjekten des Museo Nacional de Costa Rica entnehmen konnten (Foto: tk)



Sabine Klein entnimmt eine Probe eines natürlich entstandenen Kupferbleches aus einer Kupferlagerstätte in Guayabo de Mora, Costa Rica, für mikroskopische und geochemische Untersuchungen. (Foto: tk)



Mikroskopische Aufnahme eines Goldfunds, die zeigt, dass der Gegenstand aus kleinen einzelnen Goldkörnern gehämmert und nicht gegossen wurde (Museo Nacional de Costa Rica, Inventarnummer 20462, Foto: Sabine Klein, DBM)

Medizin

GEHEIMNISSE ZWISCHEN LICHT UND LEBER

Wer lange gegen seine innere Uhr lebt, erhöht das Risiko, an einer Fettleber zu erkranken. Die Zusammenhänge sind komplex. Ein Bochumer Forschungsteam ist ihnen auf der Spur.

„Künstliches Licht macht uns krank“, sagt Prof. Dr. Mustafa Özçürümez. Denn die künstliche Beleuchtung erlaubt es uns, die Nacht zum Tag zu machen. Wir bleiben lange wach, essen spät, schlafen unregelmäßig und halten uns überwiegend in Innenräumen auf. Das alles führt dazu, dass unser gesamter Stoffwechsel aus dem Takt gerät. Im schlimmsten Fall – wenn wir über Jahre oder Jahrzehnte die innere Uhr missachten – kann das in die Entwicklung einer sogenannten metabolisch-dysfunktionsassoziierten steatotischen Lebererkrankung (ehemals: nicht-alkoholischen Fettleber) münden. „Schichtarbeitende leiden häufig unter dieser Erkrankung, aber auch blinde Menschen, die über ihre Augen gar kein Licht aufnehmen können“, so Özçürümez, der in der Medizinischen Klinik in den Knappschaft Kliniken, Universitätsklinikum Bochum, die Laboratoriumsmedizin leitet.

Gemeinsam mit Dr. Jasmin Weninger und Prof. Dr. Abdurrahman Coskun ist er den Zusammenhängen auf der Spur. In verschiedenen Studien untersuchen die Forschenden den fein justierten Regelkreis unseres Tag-Nacht-Rhythmus, des sogenannten circadianen Rhythmus, und seine Störfaktoren. Eine wichtige Stellschraube des ganzen Systems ist das Hormon Melatonin. „Melatonin wird ausgeschüttet, wenn es dunkel wird“, erklärt Özçürümez. „Es macht müde und sorgt für einen erholsamen Schlaf.“ Darüber hinaus hat es verschiedene weitere Funktionen, die zur Regeneration beitragen, und es wirkt sich auch auf die Leber aus.

„Hinweise auf einen Schutz der Leber durch Melatonin ergeben sich beispielsweise bei Patienten, die bestimmte Lipidsenker gegen zu hohe Blutfettwerte einnehmen müssen. Die mit der Einnahme verbundenen Nebenwirkungen auf die Leber werden durch zusätzliche Melatoningaben abgemildert“,



Schon das Licht einer Vollmondnacht kann den Hormonhaushalt beeinflussen. (Foto: Adobe Stock, rsimona)



Für die Studie werden Teilnehmende mit Lichtsensoren ausgestattet, die an der Brille befestigt werden und genau aufzeichnen, wie viel Licht die Person über mehrere Tage hinweg ausgesetzt ist. (Foto: dg)

so Özçürümez, „vermutlich durch die antioxidativen und entzündungshemmenden Eigenschaften des Melatonins“.

Ein Problem: Durch künstliches blaues Licht, etwa vom Handy, Computer, Fernseher oder der Straßenbeleuchtung, wird es nachts kaum noch richtig dunkel. „Schon ab zehn Lux, dem Licht einer Vollmondnacht, wird die körpereigene Melatoninproduktion gehemmt“, warnt der Labormediziner.

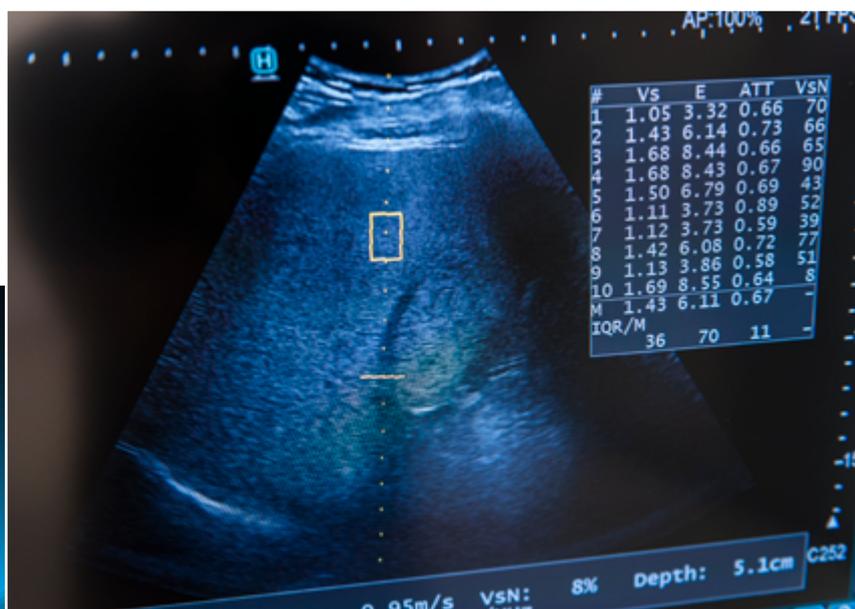
Unsere innere Uhr wird durch viele weitere Faktoren beeinflusst: Einerseits ist es genetisch bedingt, ob wir eher zu den Frühaufstehern oder Nachtmenschen gehören. Andererseits spielen Schlaf- und Essgewohnheiten sowie Lichtverhältnisse, denen wir ausgesetzt sind, eine entscheidende Rolle. Letzteres muss nicht unbedingt sichtbares Licht sein: Bestimmte Fotorezeptoren im Auge vermitteln direkt und indirekt Signale nicht sichtbaren Lichts an unsere zentrale innere Uhr und die organspezifische Rhythmik. Dieses komplexe ►

Zusammenspiel ist anfällig für Störungen, die weitreichende Folgen haben können.

Lerche, Eule oder Taube?

Wie komplex diese Zusammenhänge sind, zeigt auch die Beobachtung, dass Melatonin nicht nur in der Zirbeldrüse, sondern auch im Darm produziert wird. Auch unser Darm unterliegt einem circadianen Rhythmus, der wesentlich an der Steuerung des Leberstoffwechsels beteiligt ist.

Das Bochumer Team analysiert beispielsweise die Aktivität von sogenannten Clock-Genen in Haarwurzelpollen und misst parallel die Melatoninausschüttung, um den Zusammenhang zwischen dem Chronotyp, also der individuellen Veranlagung unserer inneren Uhr, und Erkrankungen der Leber zu untersuchen. „Wir unterscheiden grob die Lerchen, die Eulen und die Tauben“, erklärt Özçürümez, „also Frühaufsteher, Nachtmenschen und diejenigen dazwischen.“ Anhand dieser und weiterer Untersuchungen kann der Chro-



Ultraschallaufnahme der Leber mit eingblendeten Messwerten zur Beurteilung von Gewebestruktur und Elastizität zum Nachweis einer Leberverfettung (Foto: dg)

“
LERCHEN, ALSO
FRÜHAUFSTEHER, LEBEN
AM GESÜNDESTEN.
“

Mustafa Özçürümez



Wir halten uns überwiegend in Innenräumen auf. Experten raten zu mindestens 30 Minuten Aufenthalt draußen bei Tageslicht.
(Foto: Adobe Stock)

notyp sehr zuverlässig bestimmt werden, um den Zusammenhang mit Erkrankungen der Leber studieren zu können.

„Lerchen leben am gesündesten“, bringt es Özçürümez auf den Punkt. Denn sie folgen am ehesten dem natürlichen Rhythmus unserer Vorfahren, ohne künstliche Beleuchtung, mit frühem Schlaf und frühem Aufstehen. „Damals hatte man nach Einbruch der Dunkelheit draußen nichts mehr zu suchen – man wäre Beute gewesen“, sagt Özçürümez. Heute dagegen verlängern Lichtverschmutzung, abendliches blaues Licht durch ein Handy im Bett oder lange Wochenendabende den Tag künstlich, mit dem Effekt, dass viele am nächsten Morgen ausschlafen. Den daraus resultierenden Zustand nennen die Wissenschaftler*innen „Social Jetlag“, eine dauerhafte Mini-Zeitverschiebung, die der Gesundheit schadet.

„Das Spektrum an Störungen des Biorhythmus ist äußerst vielfältig“, betont Jasmin Weninger. „Erschwerend kommt hinzu, dass Schlafprobleme häufig als normal oder Privatsache wahrgenommen werden und somit keinen Krankheitswert besitzen.“ Doch genau diese Faktoren, die unseren

i DER URSPRUNG DER INNEREN UHR

Der circadiane Tag-Nacht-Rhythmus von Lebewesen hat seinen Ursprung vermutlich im sogenannten Great Oxygen Event vor rund 2,4 Milliarden Jahren. Damals begannen erste Einzeller, Sauerstoff als Nebenprodukt der oxygenen Fotosynthese zu produzieren, ein Gift für viele damalige ausschließlich anaerob lebende Organismen. Anfangs enthielt die Erdatmosphäre noch genügend leicht oxidierbare Stoffe, die den Sauerstoff neutralisierten. Doch als diese Stoffe erschöpft waren, reicherte sich Sauerstoff zunehmend in der Atmosphäre und in flachen Gewässern an.

Das hatte drastische Folgen: Zahlreiche anaerobe Lebensformen starben aus, während nur jene Organismen überleben konnten, die sich an die neuen Bedingungen anpassten. Das gelang unter anderem dadurch, dass sich Kleinstlebewesen bei Tag – wenn die Fotosynthese und damit die Sauerstoffproduktion am stärksten war – in tiefere, sauerstoffärmere Wasserschichten zurückzogen, und erst nachts wieder in die oberflächennahen Bereiche aufstiegen. Dieses Verhalten könnte den evolutionären Druck ausgelöst haben, einen inneren Rhythmus auszubilden, der zwischen Tag und Nacht unterscheidet. In dieser Zeit entwickelten sich vermutlich auch die ältesten Clock-Gene – genetische Grundlagen der inneren Uhr, die noch heute den circadianen Rhythmus von Lebewesen steuern.

Biorhythmus aus dem Gleichgewicht bringen, haben weitreichende Folgen für unsere Gesundheit. Ist die innere Uhr aus dem Takt beziehungsweise in die Abendstunden verschoben, begünstigt das Störungen im Zuckerstoffwechsel, was langfristig in eine Fettleber münden kann. „Die Fettleber ist eine Erkrankung mit vielen Ursachen, die sich über Jahre oder sogar Jahrzehnte entwickelt“, erklärt Mustafa Özçürümez.

Was genau im Körper abläuft, je nachdem, wie wir unseren Tag gestalten, ist Gegenstand einer weiteren, laufenden Studie, für die noch Teilnehmende gesucht werden. Darin untersucht das Team mit viel Aufwand den Biorhythmus von Proband*innen mit und ohne Fettlebererkrankung. Die Teilnehmenden verbringen eine Nacht in der Klinik. ▶



Experimentelle Arbeiten mit einem speziellen Leberperfusionsmodell: In regelmäßigen Abständen werden Gewebeproben und Perfusionsflüssigkeit gesammelt, um den Biorhythmus der Leber zu untersuchen. (Foto: dg)

Über 24 Stunden werden Blutdruck und Körpertemperatur kontinuierlich aufgezeichnet, und zu verschiedenen Zeiten werden Blut- und Speichelproben abgenommen, um unter anderem den Melatoninspiegel und andere Laborwerte zu messen. Zusätzlich füllen die Teilnehmenden zu verschiedenen Zeitpunkten Fragebögen über ihre Aktivitäten, ihre Schlafgewohnheiten und ihre Aufenthalte im Freien und in Innenräumen aus. Im Anschluss an die Übernachtung in der Klinik tragen sie zwei Wochen lang Lichtsensoren (Licht-Dosimeter), die genau aufzeichnen, wie viel Licht, natürliches wie künstliches, wann am Tag das Auge erreicht. „Wer mitmacht, lernt viel über sich selbst“, sagt Mustafa Özçürümez. Die Teilnehmenden erhalten nicht nur eine Aufwandsentschädigung, sondern nach Abschluss der Studie auch einen ausführlichen Bericht zu ihrem Chronotyp sowie zahlreiche weitere Ergebnisse der Untersuchungen.

Möglichkeiten der Vorbeugung

Um die Vorgänge in der Leber noch genauer aufzuschlüsseln zu können, hat das Team einen Versuchsaufbau entwickelt, in dem es Schweinelebern mithilfe einer Nährlösung künstlich am Leben erhalten kann. Abdurrahman Coskun hat eine Nährlösung patentiert, mit der die Organe kontinuierlich durchspült werden. Jasmin Weninger entnimmt über 24 Stunden in vierstündigen Abständen Proben, um die Genaktivität der Leber zu untersuchen. Dabei stehen die Tagesrhyth-

mus-steuernenden Clock-Gene im Vordergrund. „Durch die Isolierung der entsprechenden RNA alle vier Stunden können wir nachweisen, dass die Hauptgene ihren Rhythmus unter den Versuchsbedingungen beibehalten“, berichtet Jasmin Weninger. „Ein Drittel der Gene in der Leber unterliegt einer tagesrhythmischen (circadianen) Expression, was auf eine weitreichende Regulation durch die innere Uhr hinweist.

Im nächsten Schritt soll der Versuchsaufbau weiter verfeinert werden: mit temperatur-, druck- und nährstoffgesteuerten Tageszyklen – realitätsnahe Bedingungen, wie sie im lebenden Organismus vorherrschen. Ziel ist es, die Leber über mehr als 24 Stunden am Leben zu halten und dabei die genauen biologischen Regelkreise zwischen Licht und Leber zu entschlüsseln.

„Nur wenige Forschungsgruppen weltweit befassen sich damit, und es sind noch weit mehr Fragen offen als beantwortet“, sagt Mustafa Özçürümez. Sollte sich ein Einfluss des Chronotyps auf die Entwicklung einer Fettlebererkrankung bestätigen, hätte dies weitreichende Konsequenzen für die Prävention. Die Anwendung von Lichttherapie, wie zum Beispiel in Polarregionen, Brillen mit Blaulichtfilter, Melatoninpräparaten aber auch verhaltenstherapeutische Maßnahmen zur Schlafverbesserung könnten einen anderen Stellenwert bekommen.

Im Gespräch

LEBEN MIT DER INNEREN UHR

Spät essen und nächtliches Arbeiten vor dem Rechner – das sollte nicht zur Gewohnheit werden.

Prof. Dr. Mustafa Özçürümez, Leiter der Laboratoriumsmedizin der Medizinischen Klinik in den Knappschaft Kliniken, Universitätsklinikum Bochum, gibt Tipps für einen gesunden Tagesrhythmus.

Herr Professor Özçürümez, wie lebt man im Einklang mit der inneren Uhr?

Ideal ist es, früh schlafen zu

gehen und früh aufzustehen und diesen Rhythmus an allen Wochentagen beizubehalten. Die wenigsten Menschen leben natürlich heute so; es gibt aber Ausnahmen: etwa Mönche und Nonnen in Klöstern. Statistisch betrachtet leben sie nicht nur länger als der Durchschnitt der Bevölkerung. Bei ihnen ist auch die Übersterblichkeit von Männern aufgehoben. Das heißt, Männer und Frauen leben gleich lange.

Warum wirkt sich das stärker auf die Männer aus? Was sagt das über die Frauen?

Ich denke, Männer neigen zu stärkeren Verschiebungen des Tagesrhythmus als Frauen. Frauen hingegen sind durch viele Verpflichtungen stärker eingebunden, das hält sie vielleicht eher in der Bahn.

Warum ist es so ungesund, lange aufzubleiben?

Spätaktive Menschen zeigen langfristig ungünstige Stoffwechseleränderungen. Späte Mahlzeiten werden schlechter verstoffwechselt. Die Insulinresistenz nimmt am Abend zu. Außerdem kann ein gestörter Tagesrhythmus zu Schlafstörungen führen. Einzelne späte Nächte sind kein Drama – aber auf Dauer gerät die innere Uhr aus dem Takt.

Gibt es noch einen weiteren Tipp?

Ja, täglich mindestens 30 Minuten Tageslicht im Freien. Das schaffen viele Menschen nicht, ist aber wichtig, um den biologischen Rhythmus zu stabilisieren.



Mustafa Özçürümez widmet sich dem Zusammenhang zwischen Tagesrhythmus und Gesundheit.

”
IDEAL IST ES,
FRÜH SCHLAFEN ZU
GEHEN UND FRÜH
AUFZUSTEHEN UND
DIESEN RHYTHMUS
AN ALLEN WOCHENTA-
GEN BEIZUBEHALTEN.

“

Mustafa Özçürümez

Text: md, Foto: dg



Die transparenten Zylinder und die kleinen Teflonkugeln entwickelten die Forschenden für die Experimente selbst.

Fotochemie

GESCHÜTTELT STATT GERÜHRT

*Der richtige Move ermöglicht
lichtgetriebene Reaktionen
ohne umweltschädliche Lösungsmittel.*

Um chemische Reaktionen in Gang zu bringen, braucht es Energie. Licht als Quelle zu nutzen, ist nachhaltig: Es ist unbegrenzt vorhanden und nicht umweltschädlich. „Der Nachteil ist, dass fotochemische Reaktionen in der Regel in Lösung stattfinden, und zwar in starker Verdünnung“, sagt Carolina Spula. Lösungsmittel sind ein bedeutendes Umweltproblem. Spula verzichtet deswegen darauf. Am Lehrstuhl Anorganische Chemie I bei Prof. Dr. Lars Borhardt arbeitet sie an der Feststoff-Fotochemie. Reaktionen laufen dabei sozusagen trocken ab: lösungsmittelfrei und lichtgetrieben. Es sind jedoch einige Hürden zu überwinden.

„Bisher war man bei der Feststoff-Fotochemie auf sehr kleine Mengen begrenzt“, erläutert Carolina Spula. Da das Licht nicht tief in einen Feststoff – häufig ein Pulver – eindringt, konnte man zum Beispiel nur ganz dünne Pulverschichten auf ein Glasplättchen auftragen und das dann von unten beleuchten. Wie aber kann man dafür sorgen, dass auch größere Mengen Pulver überall ausreichend Licht abbekommen, um reagieren zu können?

Carolina Spula setzt auf Bewegung. Sie entwickelte in ihrer Doktorarbeit spezielle Fotoreaktoren für Kugelmöhlen, um die aus einem transparenten Quarzglaszylinder und mehreren kleinen Teflonkugeln bestehenden Reaktionsgefäße während des Schüttelns bestrahlen zu können. Den Ausgangsstoff für die gewünschte lichtgetriebene Reaktion füllt

sie in Pulverform hinein. Der Zylinder wird mit Kunststoffdeckeln verschlossen. Dann wird das Röhrchen quer in einen Apparat eingespannt, der es horizontal schüttelt, während es von allen Seiten von mehreren UV-Lampen beleuchtet wird.

Mit diesem Aufbau experimentierte Carolina Spula im Rahmen ihrer Doktorarbeit und perfektionierte ihn. „Als Faustregel kann man sagen: Für eine erfolgreiche Reaktion braucht man ein Drittel Bechervolumen Pulver, ein Drittel Kugeln und ein Drittel Luft“, berichtet sie. „Bei manchen Reaktionen kann es auch hilfreich sein, ein wenig Füllstoff hinzuzufügen, etwa ein inertes Salz. Das verhindert, dass sich Pulver in einer Ecke zusammenklumpt, wo es kein Licht mehr abbekommt.“ Der Füllstoff lässt sich später einfach wieder abtrennen. Gelegentlich nutzt die Forscherin auch eine kleine Menge Lösungsmittel, sodass im Röhrchen eine Art Paste entsteht.

Um größere Pulvermengen behandeln zu können, probierte Carolina Spula eine andere Methode aus, den Röhrcheninhalt in Bewegung zu versetzen: den resonant akustischen Mixer. Hier wird das Röhrchen aufrecht eingespannt und vertikal in Schwingungen versetzt. „Das ist in etwa so wie bei den Farbmischanlagen, die es in Baumärkten gibt“, veranschaulicht sie. Der Inhalt des Röhrchens wird dabei so durchmischt, dass sich ein Hauptstrom bildet, daneben aber noch mehrere kleinere Turbulenzen entstehen. Dadurch ►



Carolina Spula fertigt ihre Doktorarbeit in der Arbeitsgruppe Mechanochemie an.

mischt sich alles gut durch und jeder Pulverpartikel gelangt irgendwann so weit nach außen an die transparente Wand des Röhrchens, dass das Licht ihn erreichen kann. Da man dabei keine Kugeln benötigt, ist deren Platz im Röhrchen frei, und man kann mehr Pulver hineinfüllen

Die Reaktionen, auf die es Carolina Spula abgesehen hat, sind alle organischer Natur. Ein Beispiel ist die Cyclo-dehydrochlorierung. Dabei wird von einem chlorierten Vorläufer-Kettensystem aus Kohlenstoffringen ein Chloratom abgespalten, sodass sich genau an dessen Position die dritte Kohlenstoffkette zu einem Ring schließt.

Die Bindung des Chlors an den Kohlenstoff ist deutlich schwächer als die Bindung zwischen den Kohlenstoffatomen. Die Lichtteilchen versetzen die für die Bindung verantwortlichen Elektronen in einen angeregten Zustand, sodass die Bindung aufbricht – und zwar nur diese Bindung und keine andere. Automatisch schließt sich dann der Kohlenstoffring an genau der richtigen Stelle.

„Hintergrund ist, dass man möglichst lange, planare Kohlenstoffketten haben möchte“, erklärt Carolina Spula. Solche sogenannten Graphen-Nanoribbons könnten aufgrund ihrer einstellbaren Bandlücke das Potenzial haben, eines Tages

Silizium-Halbleiter in der Mikroelektronik zu ersetzen. Die Bandlücke des Siliziums ist begrenzt. Kohlenstoff könnte diese Grenze heraufsetzen.“

Nanographene könnten Silizium ablösen

Bei den Nanographenen kommt es auf eine präzise Geometrie an: Sie müssen absolut plan sein. Damit sich die Kohlenstoffringe bei der Herstellung aus einem Vorgängermolekül nicht durch Verdrehung des Moleküls auf dessen Rückseite schließen, wird mit dem Chlor oder einem ähnlichen Element eine Art Sollbruchstelle eingebaut.

Solche Reaktionen sind zwar auch auf andere Weise in Lösung möglich. Doch je größer die Kohlenstoffring-Kette, desto schlechter löst sie sich. „Um dieses Problem zu umgehen, muss man dann immer harschere, noch schlechter umweltverträgliche Lösungsmittel benutzen“, erklärt Carolina Spula. Bei der fotochemischen Herstellung des Nanographens ist das kein Problem. „Für die Umwandlung von 150 Milligramm eines Dreierings haben wir in der Mühle 25 Stunden gebraucht“, berichtet sie. „Die Reaktion eines doppelchlorierten Fünfringsystems war nach 48 Stunden abgeschlossen.“ Dass die gewünschte Reaktion im Pulver passiert war, wies die Chemikerin mittels geeigneter Analysemethoden wie Kernspinresonanz-Spektroskopie nach.

„Bislang haben wir das alles nur im Labormaßstab durchgeführt“, so Carolina Spula. „So konnten wir zeigen, dass das Verfahren funktioniert.“ Interessant könnte es auch für andere Anwendungen der organischen Synthese sein, zum Beispiel bei der Herstellung von Düngemitteln oder pharmazeutisch wirksamen Verbindungen ganz ohne die Verwendung metall-basierter Katalysatoren.

In ihrer Dissertation widmete sich Spula der Frage, ob sich die Methode nur auf Ringschlussreaktionen beschränkt oder auch für die generelle Funktionalisierung von Bindungen zwischen Kohlenstoff und Halogenen wie Chlor, Brom oder Iod, sogenannte C-X Bindungen, nutzen lässt. „Klassische C-X-Funktionalisierungen benötigen meist Übergangsmetalle und gefährliche Reagenzien, was Kosten, Abfälle und Umweltbelastungen verursacht“, sagt Carolina Spula. „Fotochemische Alternativen sind zwar bekannt, benötigen aber stark verdünnte Lösungen.“

Sie entwickelte eine metall- und katalysatorfreie Synthesvorschrift für die fotochemische Bindungsbildung zwischen Kohlenstoff und Bor zur Herstellung von Arylboronsäureestern, einer wichtigen Molekülklasse in der organischen Synthese, der Sensorik, bei der Herstellung von Arzneistoffen und in den Materialwissenschaften. Das Protokoll konnte sie auf Kohlenstoff-Phosphor- und Kohlenstoff-Schwefel-Bindungen erweitern. Diese Molekülklassen finden unter anderem Anwendung in der Pharmazie und der Agrarwirtschaft als Dünger. „Die Auswertung hat gezeigt, dass unsere UV-unterstützte mechanochemische Methode im Vergleich zu lösungsmittelbasierten oder metallkatalysierten Methoden die besten Ökobilanzwerte bei geringstem Energieverbrauch aufweist“, berichtet die Forscherin.

Text: md, Fotos: tk



Von allen Seiten mit speziellem UV-Licht bestrahlt werden die Reagenzien gemeinsam mit kleinen Kugeln in den Mahlbechern horizontal geschüttelt.



Die Faustregel lautet:
Ein Drittel Pulver, ein
Drittel Kugeln, ein
Drittel Luft. Verzichtet
man auf die Kugeln,
kann man mehr Pulver
einfüllen.

Astrophysik

ABSENDER VERZWEIFELT GESUCHT





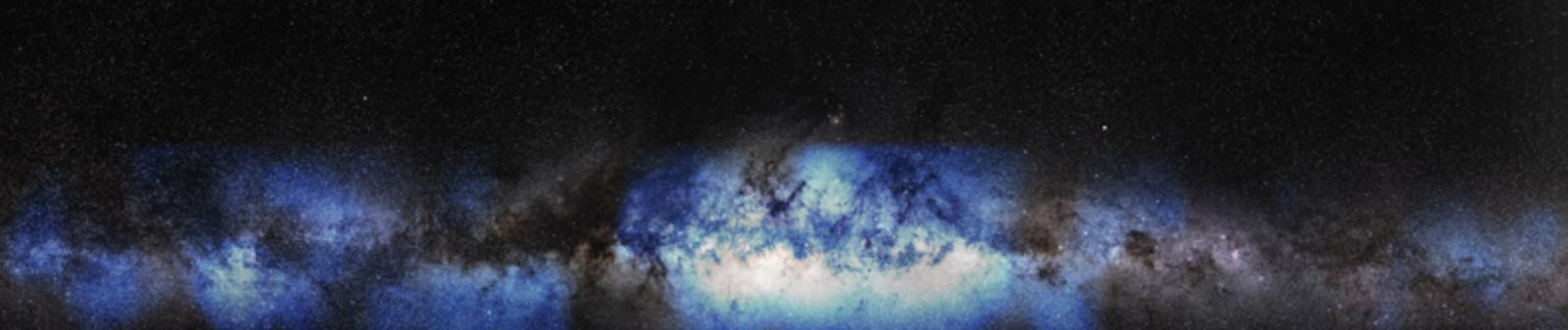
Das IceCube-Labor befindet sich in der Nähe der Amundsen-Scott South Pole Station. Hier sind unter anderem die Computer, die die Daten aufzeichnen, untergebracht. (Foto: Felipe Pedreros, IceCube/NSF)

Alle paar Wochen passiert in der Antarktis etwas Besonderes: Tief unter der Oberfläche zieht eine Lichtspur durch das Eis. Sie dauert nur Bruchteile von Sekunden, aber beschäftigt Forschende jahrelang.

Am Südpol erstreckt sich der Neutrino-Detektor „IceCube“ bis zu 2,5 Kilometer tief in die Eisschicht. Seit 2009 suchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, auch von der Ruhr-Universität Bochum, mit seiner Hilfe nach den Quellen der kosmischen Strahlung. Diese Strahlung prasselt unaufhörlich auf die Erde ein – in Form von verschiedenen Teilchen, etwa Elektronen, Protonen oder auch Neutrinos. Die Strahlung ist überall. Aber welche Himmelsobjekte sie aussenden, ist ungewiss. Neutrinos sollen helfen, den Quellen auf die Schliche zu kommen. Nicht umsonst werden sie auch als Geisterteilchen bezeichnet. Sie können Raum und Materie über riesige Distanzen durchdringen, ohne zu wechselwirken. Das macht sie zu den idealen Kandidaten, um nach den Quellen der kosmischen Strahlung zu suchen, weil sie – egal welche Hindernisse sich ihnen in den Weg stellen – auf mehr oder weniger direktem Weg von ihrem Ursprung aus zur Erde fliegen.

Ihre geisterhafte Natur ist also ein großes Glück – und zugleich eine große Herausforderung. Denn messen kann man Neutrinos auf der Erde nur, wenn sie dort zufällig doch mal mit einem anderen Teilchen wechselwirken. Das IceCube-Team wartet seit vielen Jahren geduldig auf diese Ereignisse. Kommt es zu einer Wechselwirkung eines Neutrinos im Eis, kann dabei ein neues Teilchen entstehen, Myon genannt. Auf seinem Weg durch das Eis zieht das Myon ein schwaches bläuliches Licht hinter sich her, und genau das können die lichtempfindlichen IceCube-Detektoren messen.

„Genau genommen sehen wir eine solche Lichtspur mehrere tausendmal pro Sekunde“, sagt Prof. Dr. Anna Frankowiak, Leiterin der Arbeitsgruppe für Multi-Wellenlängen- und Multi-Messenger-Astronomie und Mitglied des in Bochum koordinierten Sonderforschungsbereichs „Cosmic Interacting Matter“. „Die meisten Teilchen, die wir auf diese Art aufspüren, entstehen allerdings in unserer eigenen Atmosphäre und sind nicht die, nach denen wir suchen“, so die Physikerin weiter. Im Gegenteil. Diese Teilchen, die vor der eigenen Haustür entstehen, erschweren den Forschenden ▶



” EINE SUPERNOVA IN UNSERER
EIGENEN MILCHSTRASSE – ES WÄRE
TOLL, WENN ICH DAS ERLEBEN
DÜRFTÉ. “

Anna Franckowiak

Aufnahme: IceCube Collaboration/U.S. National Science Foundation (Lily Le & Shawn Johnson)/ESO (S. Brunier)

den die Suche nach den Boten von den fernen Quellen der kosmischen Strahlung. Sie müssen aus den Messergebnissen herausgefiltert werden.

Das IceCube-Team sucht nach Neutrinos mit hohen Energien, die mit großer Wahrscheinlichkeit nicht aus der Erdatmosphäre, sondern aus dem All kommen. Registrieren die Forschenden eine Lichtspur im Eis, berechnen sie drei Dinge: die Energie des Teilchens, das die Wechselwirkung verursacht hat; die Richtung, aus der es gekommen ist; und die Wahrscheinlichkeit, dass es sich um ein Neutrino aus dem All handelt. Den Algorithmus dafür hat Anna Franckowiaks Team in den vergangenen Jahren immer besser gemacht – und immer schneller.

„Wir brauchen 30 Sekunden, um die Energie und Richtung eines Neutrinos zu berechnen“, erklärt sie. „Dann verbreiten wir die Informationen umgehend weltweit.“ Über spezielle Apps wie „Astro-COLIBRI“ – entwickelt von der Ruhr-Universität in Kooperation mit der Université Paris-Saclay – können Interessierte sich informieren lassen, dass ein Neutrino-Ereignis detektiert wurde, und ihr Teleskop in die entsprechende Richtung schwenken. Weil das Signal, das Franckowiaks Team verschickt, maschinenlesbar ist, können geeignete Teleskope sogar automatisch ausgerichtet werden, wenn das IceCube-Team Alarm schlägt. Mit ihnen durchforsten die Forschenden die Himmelsregion, aus der das Neutrino kam, dann nach einem besonders energiereichen Objekt, das der Absender des Teilchens gewesen sein könnte.

„Es ist möglich, dass diese Himmelsobjekte nur kurz aufleuchten, daher ist es so wichtig, dass unser System in Echtzeit funktioniert“, bekräftigt Anna Franckowiak. Beispielsweise könnten Supernovae – explodierende Sterne mit großer Masse – eine Quelle der kosmischen Strahlung sein.

So energiereich ein solches Ereignis ist, so schnell ist es aber auch wieder vorbei.

Neutrino-Richtungen präzise bestimmen

Neben ihrem besonders schnellen Algorithmus haben die Bochumer Forschenden allerdings noch eine zweite Berechnungsmethode: Sie ist etwa ein bis zwei Stunden langsamer, dafür aber im Vergleich zu früheren Verfahren um den Faktor vier bis fünf genauer. Die Richtungsbestimmung erfolgt damit in einem zweiten Schritt. „Wenn wir die präziseren Daten vorliegen haben, schicken wir ein Update zu unserer ursprünglichen Neutrino-Meldung raus“, erläutert Angela Zegarelli, Postdoktorin an Franckowiaks Lehrstuhl und Leiterin der Rekonstruktions-Arbeitsgruppe in IceCube.

Ist eine potenzielle Quelle für das Neutrino gefunden, geht die Rechnerei wieder los. „Dann ermitteln wir, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass wir – wenn wir in diese Richtung des Himmels schauen – zufällig ein solches Himmelsobjekt aufleuchten sehen, das nichts mit dem Neutrino zu tun hat.“ Der Wert gibt also an, wie wahrscheinlich es ist, dass das Neutrino wirklich von dem Objekt stammt, das mit den Teleskopen erspäht wurde.

Dabei haben die Astrophysikerinnen und -physiker strenge Grenzwerte. Sie sprechen erst dann davon, eine Quelle der kosmischen Strahlung entdeckt zu haben, wenn die Wahr- ▶

Diese Illustration zeigt, wie es im Inneren des IceCube-Detektors aussieht: 5.160 Sensoren, „digital optical modules“ genannt, fangen die Lichtsignale der Myonen auf.

(Bild: Jamie Yang, IceCube Collaboration)

An der Ruhr-Universität Bochum ist noch eine zweite Arbeitsgruppe mit dem IceCube-Projekt befasst. Prof. Dr. Julia Tjus, Leiterin des Lehrstuhls für Theoretische Physik IV und Sprecherin des Sonderforschungsbereichs „Cosmic Interacting Matter“, ist seit Anbeginn des Projekts Teil des IceCube-Konsortiums. Mit ihrem Team modelliert sie die Prozesse im Inneren der potenziellen Neutrino-Quellen, etwa wie Magnetfelder genutzt werden können, Teilchen zu beschleunigen, und wie diese dann wechselwirken, um Neutrinos zu erzeugen. Diese Informationen werden benötigt, um zu rekonstruieren, welche Quellen besonders viele Neutrinos hervorbringen. Mit der Kombination von Theorie und Datenanalyse hilft das Team von Julia Tjus zudem, die schwachen Signale, die IceCube von galaktischen und extragalaktischen Neutrinos auffängt, besser aus dem Hintergrundrauschen der Neutrinos aus der Erdatmosphäre herausfiltern zu können.

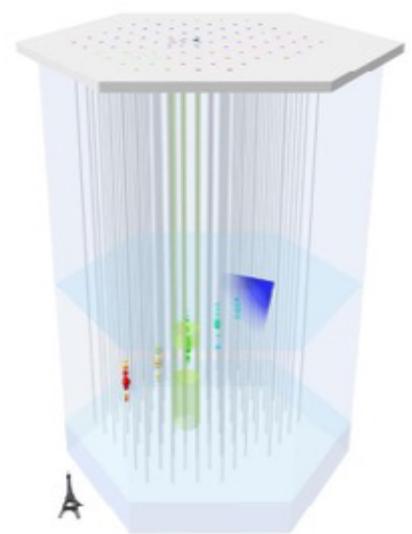
Die Forschenden können so vorhersagen, welche Klassen von Himmelsobjekten überhaupt als Quellen infrage kommen. Dazu nutzen sie das Stacking: „Dabei stapeln wir sozusagen die Signale von mehreren Quellen übereinander und können so Signale gemeinsam sichtbar machen, die einzeln zu schwach wären“, erklärt Julia Tjus. Das Stacking gibt Hinweise, dass aktive Galaxienkerne wie in der Galaxie NGC 1068 Neutrinos entsenden können.

WAS IM INNEREN DER NEUTRINO-QUELLEN VOR SICH GEHT

Aber auch Überraschungen fördern die Analysen manchmal zutage: Eine spezielle Klasse der aktiven Galaxienkerne, die sogenannten Blazare mit Gammastrahlung, senden weniger Neutrinos aus, als nach der Standardtheorie zu erwarten wäre, wonach Neutrinos immer gemeinsam mit Gammastrahlung entstehen. Die größte Überraschung erlebte das IceCube-Team aber 2023, als es dank spezieller Machine-Learning-Algorithmen der Technischen Universität Dortmund gelang, das Neutrino-Signal der eigenen Milchstraße sichtbar zu machen. Das Bild dazu ist links zu sehen.

Aktuell kombinieren die Teams in Bochum und Dortmund zusammen mit dem Lamarr-Institut die entwickelten Theorien mit Maschinellern Lernen, um herauszufinden, wann genau Blazare Neutrinos emittieren. Sie wollen verstehen, wann diese Himmelsobjekte Teilchen beschleunigen und bis zu welchen Energien – um die IceCube-Signale noch besser als bislang deuten zu können.

Die „digital optical modules“, kurz DOMs, also die einzelnen Detektoreinheiten von IceCube, sind in 86 Strängen angeordnet. An jedem Strang (grau) sind viele DOMs untereinander angebracht. Wechselwirkt ein Neutrino im Eis, entsteht ein Myon, das einen blauen Lichtkegel hinter sich herzieht, der von DOMs verschiedener Stränge registriert wird (bunte Kugeln). Rot repräsentiert eine frühe Ankunftszeit, blau eine späte. Die Größe der farbigen Kugeln stellt die Intensität des detektierten Lichts dar. (Grafik: IceCube Collaboration)



DER HIMMEL UNTER DAUERBEOBACHTUNG

Neutrino-Quellen aufzuspüren, wäre viel leichter, wenn man den gesamten Himmel immer beobachten könnte. Dann würde einem keine Supernova und kein Materiejet spuckender Galaxienkern mehr entgehen, der potenziell eine Quelle sein könnte. Das geht zwar nicht ganz, aber mit neu anlauenden Himmelsdurchmusterungs-Projekten kommt man schon nah dran.

Der 2025 angelaufene La Silla Schmidt Southern Survey, kurz LS4, beispielsweise nimmt jede Nacht aus der chilenischen Atacama-Wüste 500 Bilder auf. Auf jedem davon sind tausende Galaxien zu sehen. In wenigen Tagen kann so der gesamte Südhimmel kartiert werden. „Mit LS4 nehmen wir den Südhimmel also immer und immer wieder auf, sodass wir auch Himmelsobjekte sehen können, die nur kurz aufleuchten – etwa Supernovae oder Gezeitenkatastrophen“, sagt Prof. Dr. Anna Franckowiak, die an dem Projekt beteiligt ist. Beide Phänomene gelten als aussichtsreiche Kandidaten für die Quellen der mysteriösen kosmischen Strahlung, denen Forschende mithilfe des IceCube-Neutrino-Detektors auf der Spur sind. „Der Nachweis, dass zumindest ein Teil der von IceCube gemessenen hochenergetischen Neutrinos aus Supernovae stammt, wäre ein Durchbruch in der Neutrino-Astronomie“, ordnet Franckowiak ein.

Da LS4 besonders empfindlich für rötliches Licht ist und somit gut kühlere Objekte aufspüren kann, ergänzt es andere Himmelsdurchmusterungen wie den Legacy Survey of Space and Time, an dem der Bochumer Kosmologe Prof. Dr. Hendrik Hildebrandt beteiligt ist. Für dieses Projekt im Einsatz ist das Vera-Rubin-Observatorium auf einem Hochplateau in Chile, dessen erste Bilder im Juni 2025 veröffentlicht wurden (siehe Seite 8).

„Solche Surveys geben uns in Zukunft die Chance, auch nachträglich nach den Quellen eines Neutrinos zu suchen, weil wir dann im Archiv schauen können, was in der Richtung des gemessenen Neutrinos am Himmel zu sehen war und wie sich diese potenzielle Quelle über die Tage verändert hat“, resümiert Anna Franckowiak. Und noch einen Vorteil bringt die Zusammenarbeit mit dem Vera-Rubin-Observatorium: Für besonders spannende Neutrino-Funde würde es sogar seine Himmelsdurchmusterung unterbrechen, um bei der Suche nach dem Ursprung der Geisterteilchen zu helfen.

Die Bochumer Forschenden Anna Franckowiak, Nora Valtonen-Mattila, Giacomo Sommani und Angela Zegarelli (von links) sind Mitglieder im IceCube-Projekt. (Foto: RUB, Marquard)





Die Galaxie NGC 7469 könnte eine Quelle der kosmischen Strahlung sein, genauer gesagt das Schwarze Loch in ihrem Zentrum, der sogenannte aktive Galaxienkern. Das Objekt ist 220 Millionen Lichtjahre von der Erde entfernt. IceCube detektierte 2022 und 2023 zwei hochenergetische Neutrinos, deren Ursprung NGC 7469 gewesen sein könnte. (Bild: ESA/Webb, NASA & CSA, L. Armus, A. S. Evans)

scheinlichkeit bei 1:1,7 Millionen liegt. Das heißt: Würden sie 1,7 Millionen-mal den Himmel beobachten, würden sie nur ein einziges Mal eine potenzielle Neutrino-Quelle finden, die aber in der Realität gar nichts mit dem gemessenen Neutrino zu tun hat. Die Wahrscheinlichkeit 1:1,7 Millionen drückt das Team in Fachsprache als 5 Sigma aus.

Bislang hat IceCube keine Neutrino-Quelle mit diesem Signifikanzwert aufgespürt, aber ein paar Mal war das Team nah dran. 2017 entdeckte das Forschungskonsortium ein Neutrino, das mit einer Wahrscheinlichkeit von 3 Sigma – oder 1:1.000 – von einem sogenannten Blazar stammte. Das ist eine Galaxie mit einem aktiven Schwarzen Loch im Zentrum, das Materie schluckt, von der ein Teil als Jet in Richtung Erde wieder ausgestoßen wird.

2022 und 2023 rückte IceCube noch näher an die magische Signifikanzschwelle heran: Giacomo Sommani, Doktorand in Franckowiaks Arbeitsgruppe, spürte zwei Neutrinos auf, die ebenfalls von einem aktiven Galaxienkern auszugehen schienen. Anders als im oben beschriebenen Fall handelte es sich dabei aber nicht um einen Blazar, sondern um ein Schwarzes Loch ohne Materiejets in der Galaxie NGC 7469. Die Wahrscheinlichkeit: 3,2 Sigma. 2023 detektierte IceCube zudem 80 Neutrinos mit etwas niedrigeren Energien, die das Team in Zusammenhang mit dem aktiven Galaxienkern von NGC 1068 brachte – mit einer Wahrscheinlichkeit von 4,2 Sigma. „Das ist nah dran, aber wir wollen 5“, unterstreicht Franckowiak.

Supernovae und Gezeitenkatastrophen

Das IceCube-Team sucht daher weiter. Aber nicht nur nach Galaxien, sondern auch nach kleineren potenziellen Quellen. „Zwischenzeitlich hatten wir sogenannte Gezeitenkatastrophen als Quellen in Betracht gezogen“, erzählt Anna Franckowiak. „Sie entstehen, wenn ein Stern zu nah an ein inaktives Schwarzes Loch gerät, das zwar gerade keine Materie schluckt, den Stern aber mit seiner großen Gravitation in die Länge zieht und zerreißt. An der Seite, die dem Schwarzen Loch zugewandt ist, wird stärker an dem Stern gezogen als an der Rückseite.“

Drei Neutrino-Ereignisse hatte IceCube im Lauf der Jahre entdeckt, die potenziell mit Gezeitenkatastrophen in Zusammenhang gebracht wurden. Aber Fehlalarm: „Nachdem wir unseren Algorithmus für die Richtungsrekonstruktion verbessert hatten, haben wir die Ereignisse noch einmal analysiert – und die Flugbahn der Neutrinos passt nicht zu den Positionen, an denen die Gezeitenkatastrophen stattgefunden haben“, so die Bochumer Physikerin.

Neben den Gezeitenkatastrophen zieht das IceCube-Team noch ein anderes Phänomen als Quelle der kosmischen Strahlung in Betracht: Supernovae, also gewaltige Explosionen, wie sie am Lebensende von Sternen auftreten, deren Masse zehnmal größer als die der Sonne ist. Dass bei Supernovae Neutrinos mit niedrigen Energien entstehen, ist bekannt. Potenziell

könnten diese Extrem-Ereignisse aber auch hochenergetische Neutrinos hervorbringen, die die Weiten des Alls durchqueren können. Nachweisen konnte das noch niemand, aber das IceCube-Team hat erste Hinweise gefunden. Eine Supernova konnte mit einer Wahrscheinlichkeit von 3 Sigma einem hochenergetischen Neutrino zugeordnet werden, das der Detektor registriert hatte.

Insgeheim wartet Anna Franckowiak aber noch auf etwas anderes: ein Ereignis direkt vor der Haustür, eine Supernova in unserer eigenen Milchstraße. „Diese könnten wir auch dann mit IceCube aufspüren, wenn die Neutrinos nicht die höchsten Energien erreichen“, erklärt Nora Valtonen-Mattila, Postdoktorin an Franckowiaks Lehrstuhl und Leiterin der „Low-Energy“-Arbeitsgruppe in IceCube. „Denn dann würden so viele Neutrinos aus dieser Richtung kommen, dass es nicht nur eine Lichtspur geben würde; unser ganzer Detektor würde auf einmal hell werden. Das wäre eine Sensation.“ Eine Sensation, die allerdings nur ein- bis dreimal pro Jahrhundert in der Milchstraße vorkommt. „Es wäre toll, wenn ich das erleben dürfte“, träumt Franckowiak.

Weil sich das IceCube-Team darauf nicht verlassen kann, arbeitet es unaufhörlich daran, die Detektionsmethoden zu verbessern. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler optimieren die Algorithmen zur Richtungsbestimmung der Neutrinos weiter. Immer bessere Teleskope steigern die Chancen, die potenziellen Quellen zu finden. Und nicht zuletzt bekommt IceCube zeitnah ein Upgrade mit neuen Detektorsträngen im Zentrum, sodass ihm auch Neutrinos mit etwas niedrigeren Energien in die Fänge gehen können. Wäre doch gelacht, wenn nicht irgendwann ein Geisterteilchen dabei wäre, das seine Herkunft zweifelsfrei verrät.

jwe

REDAKTIONS- SCHLUSS

Was steckt im Licht der Lampe? Wer das genauer wissen will, kann sich einfach einen Spektrografen selber basteln. Man nehme einen Schuhkarton, eine Papprolle – zum Beispiel vom Küchenpapier – und eine CD sowie Klebeband. Auf dem Boden des Schuhkartons wird die CD festgeklebt. Genau darüber schneidet man einen sehr dünnen Schlitz in die Pappe. Da hindurch soll das Licht später einfallen. Durch ein Loch an der Seite des Kartons steckt man die Papprolle mit Fokus auf die CD.

Wenn nun zum Beispiel von einer Lampe Licht durch den Schlitz fällt, trennt die Oberfläche der CD dank ihrer verschiedenen Spuren die Wellenlängen auf, ähnlich wie ein Prisma oder wie bei einem Regenbogen. Durch die Papprolle kann man das Spektrum der Lampe sehen.

Damit wir künstliches Licht als angenehm empfinden, sollte es möglichst ähnlich zum Tageslicht sein, also ein kontinuierliches Spektrum haben. Je nach Quelle zerfällt das Licht jedoch in mehr oder weniger breite Streifen mit schwarzen Bereichen dazwischen. Bei LED-Lampen kann man mehr rote Bereiche erkennen je wärmer das abgestrahlte Licht ist. Kühlere LEDs haben einen höheren Blauanteil.

Viel Spaß beim Basteln!



Experiment: Lehrstuhl Experimentalphysik II

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. Birgit Aitzsch (Sozialwissenschaft), Prof. Dr. Thomas Bauer (Fakultät für Wirtschaftswissenschaft), Prof. Dr. Christoph Bühren (Sportwissenschaft), Prof. Dr. Elena Enax-Krumova (Medizin), Prof. Dr. Anna Franckowiak (Physik und Astronomie), Prof. Dr. Constantin Goschler (Geschichtswissenschaften), Prof. Dr. Markus Kaltenborn (Jura), Prof. Dr. Kristina Liefke (Philosophie und Erziehungswissenschaft) Prof. Dr. Günther Meschke (Prorektor für Forschung und Transfer), Prof. Dr. Martin Muhler (Chemie), Prof. Dr. Ines Mulder (Geowissenschaft), Prof. Dr. Franz Narberhaus (Biologie), Prof. Dr. Nils Pohl (Elektro- und Informationstechnik), Prof. Dr. Tatjana Scheffler (Philologie), Prof. Dr. Sabine Seehagen (Psychologie), Prof. Dr. Roland Span (Maschinenbau), 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, rubin@rub.de, news.rub.de/rubin

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

FOTOGRAFIE: Damian Gorczany (dg), Schiefersburger Weg 105, 50739 Köln, Tel.: 0176 / 29706008, damiangorczany@yahoo.de, www.damiangorczany.de; Roberto Schirdewahn (rs), Offerkämpfe 5, 48163 Münster, Tel.: 0172/4206216, post@people-fotograf.de, www.wasaufdieaugen.de; Tim Kramer (tk), Agentur für Markenkommunikation, Ruhr-Universität Bochum

COVER: RUB, Tim Kramer

BILDNACHWEISE INHALTSVERZEICHNIS: Teaserfoto für Seite 26: Damian Gorczany; Seite 34: RUB, Katja Marquard; Seite 46: DBM, Katrin Westner; Seite 60: Nicolle R. Fuller/NSF/IceCube

GRAFIK, ILLUSTRATION, LAYOUT UND SATZ:

Agentur für Markenkommunikation, Ruhr-Universität Bochum, www.einrichtungen.rub.de/de/agentur-fuer-markenkommunikation. Bei der Bearbeitung einzelner Motive kam generative KI (Adobe Firefly) zum Einsatz.

DRUCK: LUC GmbH, Ludgeristraße 13, 59379 Selm, luc-medienhaus.de, kontakt@luc-medienhaus.de

ANZEIGEN: Dr. Julia Weiler, Dezernat Hochschulkommunikation, Redaktion Rubin, Ruhr-Universität Bochum, 44780 Bochum, Tel.: 0234/32-25228, rubin@rub.de

AUFLAGE: 3.900

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

Die nächste Ausgabe von RUBIN erscheint am 1. Juni 2026.

WISSENSCHAFT ZUM NULLTARIF

*Abonnieren Sie kostenlos das Forschungsmagazin »Rubin«
als digitalen Newsletter oder Printmagazin.*

RUBIN
ABONNIEREN
→ news.rub.de/rubin

RUHR INNOVATION LAB

THINK. TRY. TRANSFORM.

In our living lab, we are
exploring creative ideas to build
future-proof societies.



ruhr-innovation-lab.de