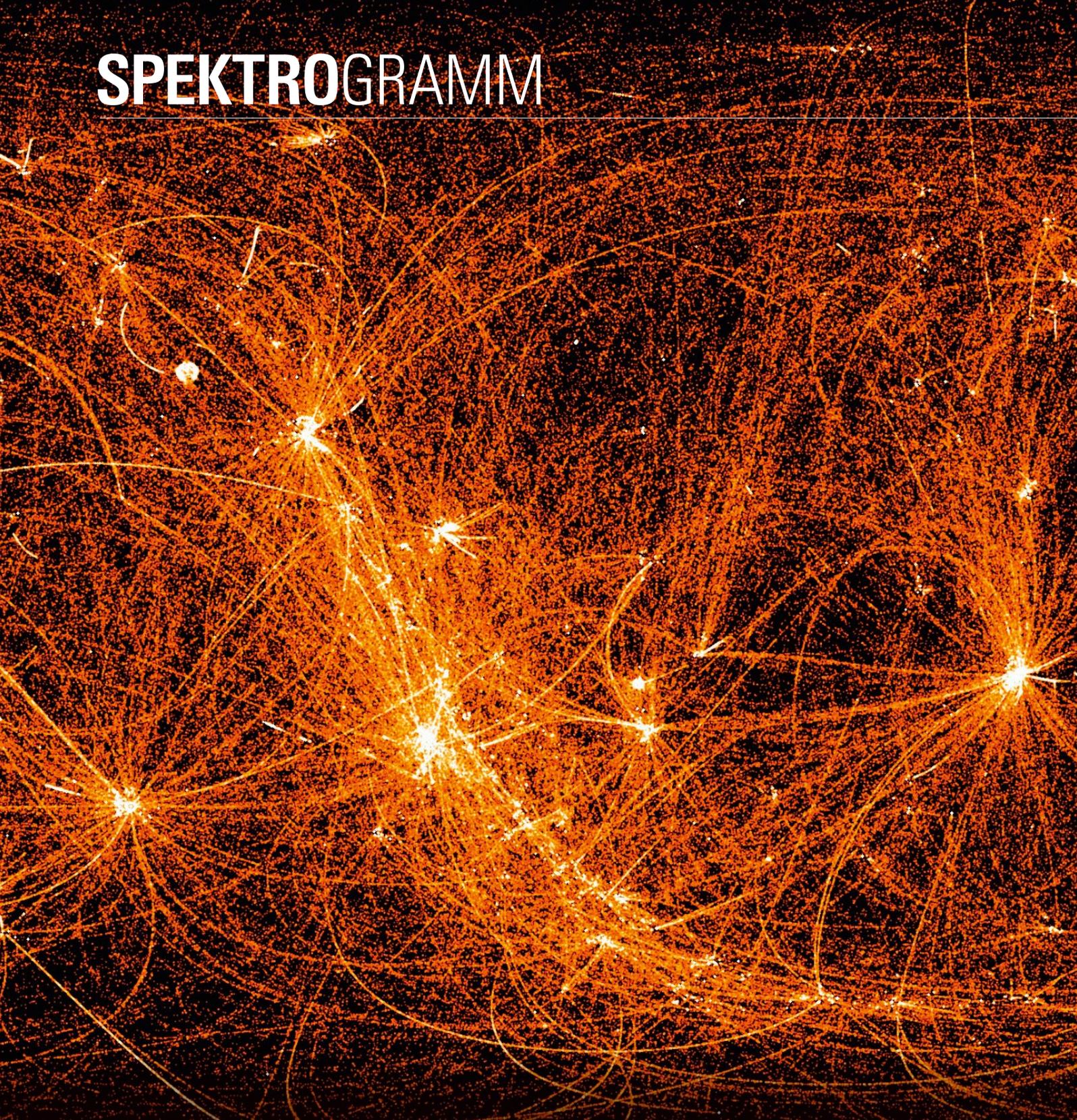


SPEKTROGRAMM

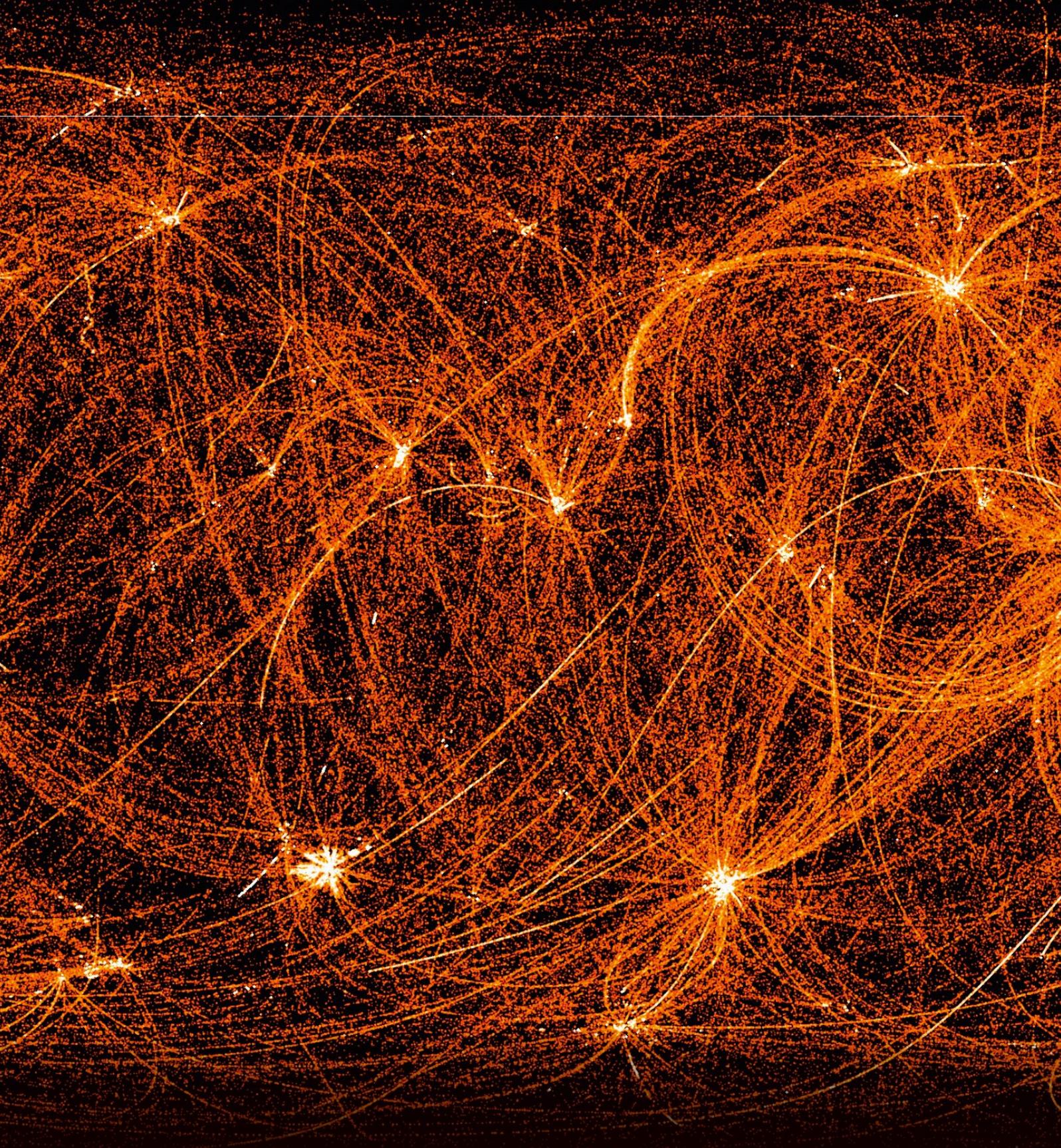


EIN KUNSTWERK AUS RÖNTGENSTRAHLUNG

► Eigentlich soll der Neutron Star Interior Composition Explorer (NICER) an Bord der Internationalen Raumstation die Röntgenstrahlung weit entfernter Neutronensterne auffangen. Da sich das Messinstrument jedoch zusammen mit der ISS

binnen 93 Minuten einmal um die Erde bewegt, kann es solche Quellen immer nur für kurze Zeit im Blick behalten – anschließend müssen die Forscher NICER in Richtung eines anderen Ziels schwenken. Dabei zeichnet das Gerät weiterhin Daten auf, wodurch

Himmelspanoramen wie dieses entstehen. Es basiert auf Messungen aus 22 Monaten und zeigt einerseits mehrere klar identifizierbare Röntgenquellen am Firmament. Links oben ist beispielsweise der so genannte Cygnusbogen als heller Punkt zu sehen, der als Überrest einer



Supernova große Mengen Strahlung abgibt. Markant ist auch der Pulsar PSR J1231-1411 links der Bildmitte – bei ihm handelt es sich um einen rasant rotierenden Neutronenstern.

Die geschwungenen Bögen stellen hingegen die Wege dar, auf denen das

eng fokussierte Sichtfeld des Detektors von Quelle zu Quelle gewandert ist. Dass NICER auch hier ausschlägt, liegt entweder an Röntgenstrahlen, die abseits der auffälligen Regionen auf den Weg geschickt wurden, oder an versprengten kosmischen Teilchen, die

den Detektor treffen. Bahnen, die auf dem Bild besonders hell sind, hat das Instrument oft abgefahren – oder es verbirgt sich in ihrer Nähe eine noch nicht katalogisierte Strahlungsquelle.

NASA-Mitteilung, Mai 2019

SPEKTROGRAMM

TECHNIK NEUES SYSTEM FÜR MASSEINHEITEN

► Seit dem 20. Mai haben mehrere wichtige Maßeinheiten eine neue Basis. Das Kilogramm, das Ampere, das Kelvin und das Mol sind nun durch Naturkonstanten definiert. Die genauen Werte der vier Größen sind damit für alle Zeiten festgezurrt, sie lassen sich künftig durch Präzisionsmessungen in gut ausgestatteten Laboren ermitteln.

Aus Sicht von Metrologen ist beides ein großer Fortschritt: Insbesondere das Kilogramm hat den Messexperten in der Vergangenheit Sorgen bereitet, da sein exakter Wert von der Masse eines 130 Jahre alten Platin-Iridium-Zylinders in einem Pariser Tresor abhing. Dieses Urkilogramm schien im Lauf der Zeit langsam an Masse zu verlieren (siehe **Spektrum** Juni 2017, S. 46).

Weltweit arbeiteten Metrologen jahrelang an einer Neudefinition, die vier der sieben grundlegenden Maßeinheiten des SI-Einheitensystems umfassen sollte. Meter, Sekunde und Candela lassen sich bereits seit Jahrzehnten aus Naturkonstanten ableiten. So ist es von nun an auch beim Kilogramm: Sein exakter Wert ergibt sich in Zukunft aus dem planckschen Wirkungsquantum. Es verknüpft die Energie einer Lichtwelle mit ihrer Frequenz und hat stets denselben Wert.

Über seine Maßeinheit ($\text{kg m}^2/\text{s}$) steht es in eindeutiger Beziehung zu Kilogramm, Meter und Sekunde. Wissenschaftler haben daher in den vergangenen Jahren den exakten Wert des Wirkungsquantums mit verschiedenen Methoden äußerst präzise bestimmt. Da dabei jeweils die Masse des Urkilogramms einfluss, kann das Pariser Artefakt jetzt in Ruhestand gehen: Künftig lässt sich der Wert der Kilogrammmasse aus der planckschen Naturkonstante ableiten.

Ähnliche Definitionen gelten in Zukunft für Ampere, Kelvin und Mol. Das Ampere ist von jetzt an durch die elektrische Ladung eines Elektrons festgelegt, das Kelvin unter anderem durch die so genannte Boltzmann-Konstante. Und das Mol lässt sich über die Avogadro-Konstante bestimmen, welche sich aus der Teilchenzahl pro Stoffmenge ableitet.

Mitteilung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Mai 2019



Metrologen können aus Einkristallen hochwertige Siliziumkugeln ziehen, deren Masse exakt ein Kilogramm beträgt – in Zukunft ein wichtiges Mittel zum Massenvergleich.

LEIBNIZ-INSTITUT FÜR KRISTALLZÜCHTUNG (IKZ), TILT, TÜBINGEN, WWW.PTB.DE/MS/PRESSEARTIKEL/LES/JOURNALISTENPRESSEFOTOS/HTML/, CC BY 4.0 (CREATIVECOMMONS.ORG/LICENSES/RY/4.0/LEGALCODE)

ARCHÄOLOGIE DIE LUFTVERSCHMUTZUNG DER ALTEN RÖMER

► In der Antike scheinen die Römer Blei in nahezu industriellem Maßstab verarbeitet zu haben, berichtet ein Team um Susanne Preunkert von der Universität Grenoble. Es hat einen Eisbohrkern vom Col du Dome am Mont-Blanc-Massiv untersucht, dessen älteste Schichten 5000 Jahre alt sind. Mit Hilfe der Radiokarbonmethode, welche das Alter einer Schicht verrät, konnten die Forscher ermitteln, wie viel Blei in bestimmten Jahren in der Luft schwebte.

Das Schwermetall wird bei der Gewinnung und dem Schmelzen von Bleierzen freigesetzt. Es gilt als potentes Umweltgift und ist bereits in geringen Konzentrationen für den

menschlichen Körper schädlich. Weil es vergleichsweise einfach zu verarbeiten ist, gewannen es die Römer in Minen und setzten es insbesondere für Wasserleitungen ein.

Bohrkerne aus Grönland deuten schon länger an, dass unsere Vorfahren damit die Luft verpesteten. Nun konnten die Wissenschaftler um Preunkert das Ausmaß der Belastung genauer als bisher bestimmen. Demnach stieg die Bleikonzentration in der Luft über den französischen Alpen zwischen 350 v. Chr. und 175 n. Chr. vorübergehend auf das Zehnfache des natürlichen Werts an.

Die Forscher glauben dabei zwei Phasen besonders hoher Kontamina-

tion ausmachen zu können: Während des Aufblühens der römischen Republik in der Zeit um 250 v. Chr. und ab 120 n. Chr., als sich das römische Kaiserreich auf den europäischen Kontinent ausdehnte.

In den Bürgerkriegswirren von 130 bis 30 v. Chr. gelangte hingegen deutlich weniger Blei in die Luft, ebenso wie nach dem Niedergang des römischen Imperiums. Übertroffen wurden diese Werte erst wieder in den 1950er bis 1980er Jahren: Durch bleihaltiges Benzin stieg die Bleikonzentration auf Werte, die 100-fach über dem natürlichen Niveau lagen.

Geophysical Research Letters
10.1029/2019GL082641, 2019

UMWELT DOPPELSCHLAG GEGEN BIENEN

► Kaum ein Imker, der nicht ständig gegen die Varroamilbe ankämpft. Ohne eine Behandlung gegen den eingeschleppten Parasiten und die von ihm übertragenen Viren haben Bienen zuweilen schlechte Überlebenschancen. Doch selbst mit Varroabwehr sterben manchen Honigproduzenten jedes Jahr überdurchschnittlich viele Völker weg. Über die Ursachen diskutieren Experten seit Langem.

Nun argumentieren Biologen um Lars Straub von der Universität Bern, dass eine Art Doppelschlag den Bienen zu schaffen macht: Der Parasitenbefall werde besonders dann zu einer Gefahr, wenn die Tiere gleichzeitig Neonikotinoiden ausgesetzt sind. Bei ihnen handelt es sich um weit verbreitete Pflanzenschutzmittel, die Ernten oder Saatgut vor Insektenfraß schützen sollen. Einige der Substanzen sind inzwischen wegen ihrer Umweltgefahr stark reglementiert.

Vermutlich nehmen Honigbienen einige der Stoffe jedoch nach wie vor auf und tragen sie in ihre Stöcke. Die Gruppe um Straub hat nun in einem

Experiment gezielt nach einem Kombinationseffekt von Varroamilbe und Neonikotinoiden gesucht. Demnach stellte eine Belastung durch die Insektengifte zunächst noch kein Problem für das Überleben einer Kolonie dar. Erst wenn die Bienen zusätzlich noch von den Parasiten befallen waren, zeigten sich Anzeichen für Krankheit.

Vor allem den im Herbst schlüpfenden Winterbienen scheint die Kombination zu schaden. Eigentlich sollen diese größeren und langlebigen Tiere die Kolonie durch den Winter bringen. Im Experiment der Schweizer Wissenschaftler waren sie jedoch kleiner als normal, zudem starben viele von ihnen früher als unbelastete

Bienen aus einer Kontrollgruppe – der Effekt der Neonikotinoide zeigte sich hier erst Monate nach der Aufnahme.

Dass sich die beiden Stressfaktoren in ihrer schädlichen Wirkung gegenseitig verstärken, vermuten Experten schon länger. Allerdings habe bislang ein experimenteller Nachweis gefehlt, so die Forscher um Straub. Durch welchen Mechanismus die kombinierte Wirkung zu Stande kommt, ist noch offen. Möglicherweise gelingt es varroabefallenen Bienen nicht mehr so gut, Fremdstoffe unschädlich zu machen.

Scientific Reports 10.1038/s41598-019-44207-1, 2019



Offenbar macht Bienenvölkern die Kombination aus Insektiziden und Parasiten zu schaffen.

BIOPHYSIK KRANKENHAUSKEIM REGISTRIERT STRÖMUNGEN

► Wenn Luft über unsere Haut streicht, können wir zwischen einer leichten Brise und einem kräftigen Wind unterscheiden. Dabei spüren wir allerdings nicht die Geschwindigkeit der Luftteilchen, sondern die Kraft, die sie auf uns ausüben. Zumindest eine Bakterienart scheint dagegen Strömung anders wahrzunehmen, wie ein Forscherteam um Zemer Gitai von der Princeton University entdeckt hat: Das Bakterium *Pseudomonas aeruginosa* reagiert auf die Schergeschwindigkeit vorbeiströmender Flüssigkeiten, also auf das hier herrschende Geschwindigkeitsgefälle. Dieses neu entdeckte Phänomen bezeichnen die Wissenschaftler als »Rheosensing« (griechisch »rheos« = Fluss oder Strom).

In ihrem Versuch haben die Forscher in unterschiedlichen Stellen des Bakteriengenoms die Bauanleitung für ein fluoreszierendes Protein als Marker für Genaktivität eingefügt. Anschließend hefteten sie die Mikroorganismen an die Wände einer flüssigkeitsdurchströmten Kammer. Bald darauf schalteten sich bestimmte Gene ein: Je höher die Schergeschwindigkeit in der Kammer, desto heller leuchteten die Bakterien.

Die Schwergeschwindigkeit gibt den Geschwindigkeitsunterschied zwischen benachbarten Flüssigkeitsschichten an und wird in der distanzlosen Einheit »pro Sekunde« angegeben. Im Modellsystem der Forscher reagierte *Pseudomonas aeruginosa*

auf Scherraten zwischen 40 und 400 pro Sekunde – in diesem Bereich liegen auch unsere Blutgefäße. Mit welchem Sensor das Bakterium diese Eigenschaft der Umgebungsflüssigkeit erfasst, ist aber noch unklar.

Vielleicht lasse sich das Rheosensing bei der Entwicklung neuer Antibiotika ausnutzen, spekulieren die Forscher. Denn zu wissen, wie schnell eine Flüssigkeit strömt, hilft dem in Blutgefäßen und dem Harntrakt vorkommenden *Pseudomonas aeruginosa* wahrscheinlich, sich an seinen Lebensraum anzupassen – und trägt so seinen Teil zur Verbreitung dieses Erregers bei, der als hartnäckiger Krankenhauskeim gilt.

Nature Microbiology 10.1038/s41564-019-0455-0, 2019

MATHEMATIK ENTDECKUNG DANK »BIG BANG THEORY«

► Die 73. Folge der US-Sitcom »The Big Bang Theory« war für Mathematiker eine ganz besondere: Der geniale, wenig lebensstaugliche Physiker Sheldon Cooper erklärte darin die 73 zu seiner Lieblingszahl. Die Begründung der TV-Figur: Die 73 sei die 21. Primzahl, und die 21 erhalte man, wenn man die Ziffern 7 und 3 miteinander multipliziert. Zudem ist die Spiegelzahl der 73, die 37, ebenfalls eine Primzahl, und zwar ausgerechnet die 12. – was wiederum die Spiegelzahl von 21 ist.

Was bei vielen Zuschauern für Lacher sorgte, brachte professionelle Mathematiker ins Grübeln: Gibt es noch mehr »Sheldon-Primzahlen« mit genau diesen Eigenschaften? Die Mathematiker Carl Pomerance vom Dartmouth College in New Hampshire und Christopher Spicer vom Morning-side College in Iowa haben nun eine Antwort gefunden: Die 73 sei die einzige Primzahl, welche die von Sheldon genannten Kriterien erfüllt. Die Vermutung hatten Pomerance und

Spicer schon länger, für ihren zehnjährigen Beweis benötigten sie letztlich aber Jahre.

Zunächst zeigten die beiden Forscher, dass es keine Sheldon-Primzahl geben kann, die größer als 10^{45} ist. Denn für eine so große n-te Primzahl ist das Produkt ihrer Ziffern gemäß dem berühmten Primzahlsatz immer kleiner als n selbst. Anschließend mussten die Mathematiker nur noch

alle Konkurrenten der 73 im Zahlenraum zwischen 2 und 10^{45} ausschließen, was ihnen mit Hochleistungscomputern und Näherungsformeln gelang.

Weitere mathematische Entdeckungen auf Basis von »The Big Bang Theory« sind nicht zu erwarten: Im Mai 2019 strahlte der TV-Sender CBS die letzte Folge der Serie aus.

Mitteilung des Dartmouth-College, April 2019



Serienfigur Sheldon Cooper (rechts) ist ein mathematisches Genie – mit wenig Sinn für Zwischenmenschliches.

BIOLOGIE

DIE ZÄHNE DES DRACHENFISCHS

► Eigentlich herrscht in der Tiefsee ewige Finsternis. Ihre Bewohner besitzen daher oft überdimensionierte Augen, oder sie können durch die so genannte Biolumineszenz selbst Licht erzeugen. Als Raubtier ist es deshalb sinnvoll, möglichst perfekt im Dunkeln zu verschwinden und nicht einmal das wenige vorhandene Licht zu reflektieren. Der Drachenfisch *Aristostomias scintillans* scheint diese Strategie perfektioniert zu haben: Das tief-schwarze, 15 Zentimeter lange Tier hat im Lauf der Evolution transparente Zähne entwickelt – und kann damit sogar mit offenem Maul auf die Jagd gehen.

Wie das Gebiss im Detail aufgebaut ist, hat nun ein Team um Audrey Velasco-Hogan von der University of California in San Diego ermittelt. Die Forscher schauten sich dazu die Beißwerkzeuge eines in 500 Meter Tiefe gefangenen *A.-scintillans*-Exemplars unter dem Elektronenmikroskop an. Der Analyse zufolge sind die Zähne von einer sehr harten, dem Zahnschmelz ähnlichen Schicht überzogen, die winzige Nanokörnchen enthält, ähnlich ungeordnet wie die Atome in Glas.

Licht wird in dem Material nur an wenigen Stellen reflektiert oder umgelenkt. Auch die Struktur des Zahnbeins ist so beschaffen, dass es transparent wirkt. Hierzu trägt unter anderem das Fehlen so genannter Dentinkanälchen bei, welche bei anderen Tieren und Menschen dafür sorgen, dass die Zähne weiß erscheinen.

Insgesamt wirken Drachenfische fast unsichtbar: Selbst das schwache Leuchten eines Bartfadens am Kinn, mit dem die Tiere ihre Beute anlocken, kann sie kaum aus der Dunkelheit hervorheben. Das mache *A. scintillans* vermutlich zu einem sehr erfolgreichen Jäger, folgern die Studienautoren.

Matter 10.1016/j.matt.2019.05.010, 2019



Klein, aber tödlich: Drachenfische können in der stockdunklen Tiefsee ihre Beute leicht überraschen.

AUDREY VELASCO-HOGAN, UC SAN DIEGO

ASTRONOMIE

HEIMATLOSE STERNE

► Astrophysiker haben im weit entfernten Weltall mehrere Dutzend Sternenduos entdeckt, die vermutlich einst von Supernova-Explosionen aus ihrer Galaxie geschleudert wurden. Die Paare sind Teil des 60 Millionen Lichtjahre entfernten Fornax-Galaxienhaufens, befinden sich dort jedoch im Raum zwischen den einzelnen Galaxien. Das Team um Xiangyu Jin von der chinesischen Nanjing University konnte sie anhand von Röntgenstrahlung aufspüren, die sie kontinuierlich ins All feuern. Die Systeme haben vermutlich alle dieselbe

turbulente Geschichte hinter sich: Einst umkreisten sich in ihnen zwei große Sonnen. Irgendwann war bei einer von ihnen das Brennmaterial aufgebraucht, wodurch diese in einer Supernova zu einem Neutronenstern kollabierte.

Da die gewaltige Explosion nicht ganz symmetrisch ablief, erhielt die Sternleiche einen kräftigen Rückstoß, der sie aus ihrer Galaxie schleuderte. Dabei zog die extrem kompakte Kugel ihren Partnerstern hinter sich her.

Der Neutronenstern saugte daraufhin Materie von seinem Nachbarn auf und sammelte diese in einer Akkretionsscheibe. Sie gibt große Mengen Röntgenstrahlung ab, wodurch sich derartige Systeme in den Weiten des Alls aufspüren lassen.

Die Forscher um Xiangyu Jin entdeckten die Signale in Messdaten des Weltraumteleskops Chandra, das in der Zielregion 1177 Röntgenquellen ausgemacht hat. Über den Vergleich mit optischen Teleskopaufnahmen bestimmten die Astrophysiker, welche davon sich abseits der von Sternen dominierten Regionen befanden.

In einem letzten Schritt mussten die Wissenschaftler die Systeme noch von anderen Röntgenquellen trennen, die sich im ausgedehnten Vorhof von Galaxien bewegen. Letztlich könne man bei etwa 30 der Quellen davon ausgesehen, dass sie ihre Galaxie vollständig verlassen haben, berichtet das Team.

The Astrophysical Journal 10.3847/1538-4357/ab064f, 2019