

# SPEKTROGRAMM

## SAGENHAFTER GOLDSCHATZ

Als Ole Ginnerup Schydtz seine neue Metallsonde auf einem Acker im dänischen Vindelev ausprobierte, fand er prompt mehr als 20 Goldobjekte aus dem 6. Jahrhundert. Das Ensemble wiegt ein knappes Kilo und besteht fast ausschließlich aus handtellergroßen Medaillons. Die Stücke zeigen Bildnisse berühmter Männer; bei einigen handelt es sich um spätrömische Goldmünzen mit der Darstellung etwa des Kaisers Konstantin I., die zu Anhängern umgearbeitet wurden. Laut dem Museumsverbund der Stadt Vejle stellt der Hort einen der größten Goldschatzfunde Dänemarks dar.

Die Artefakte begeistern das Team um Museumsdirektor Mads Ravn aus mehreren Gründen. So haben Nachgrabungen am Fundort ergeben, dass an der Stelle einst ein Langhaus stand. Wie die Forscher vermuten, könnte es sich um den Sitz eines Lokalfürsten gehandelt haben. Unweit von Vindelev befindet sich ein bedeutender Fundplatz der dänischen Frühzeit, der alte Königssitz von Jelling, an dem unter anderem der Dänenkönig Harald Blauzahn Monumente errichten ließ. Ravn und seine Kollegen waren bislang nicht davon ausgegangen, dass im Umfeld dieses Ortes schon zuvor ein einflussreicher Herrscher residiert hatte. Doch darauf lassen Umfang und Qualität des neuen Goldhorts schließen.

Einige Medaillons sind mit Runen beschriftet und zeigen womöglich Figuren aus der nordischen Mythologie. Auf einem Anhänger ist ein bärtiger Mann von der Seite abgebildet nebst einem Pferd und einem Vogel. Die Runenbeischrift entziffern die Forscherinnen und Forscher als »der Große«. Der Titel könnte einen Herrscher meinen, bezeichnet in der Mythologie aber auch den Götterkönig Odin.

Warum die Goldobjekte vergraben wurden, ist nicht bekannt. Womöglich hing das mit einer weltweiten Klimakatastrophe zusammen, dem Beginn der so genannten Kleinen Eiszeit der Spätantike. Um das Jahr 536 ereigneten sich mindestens zwei gewaltige Vulkanausbrüche in Mittelamerika oder Südostasien. Staubwolken verdunkelten die Atmosphäre, und es kam zu Ernteaussfällen und Hungersnöten. Die Zeiten dürften unsicher geworden sein, womit ein Anreiz entstand, Wertvolles zu schützen.

*Pressemitteilung des Museumsverbunds Vejle, 5. September 2021*



KONSERVIERUNGSZENTRUM VEJLE



# SPEKTROGRAMM

## PHYSIK

### LASERFUSION FEIERT BEINAHE-DURCHBRUCH

► Die National Ignition Facility (NIF) der USA hat einen wichtigen Erfolg gemeldet bei dem Versuch, mit Kernfusion Energie zu gewinnen. Erstmals setzte die Anlage rund 70 Prozent der Energie frei, die vorher aufgewendet wurde, um den Vorgang zu starten. Bei vorherigen Testläufen hatte der Wert bei gerade einmal 3 Prozent gelegen. Das Ziel der Arbeiten lautet natürlich, am Ende mehr Energie zu gewinnen als vorher investiert zu haben.

In der NIF-Anlage erzeugen hochenergetische und ultrakurze Laserpulse die Hitze und den Druck, die zur Kernverschmelzung notwendig sind. Der Brennstoff, ein Gemisch aus den Wasserstoffisotopen Deuterium und Tritium, befindet sich in einer kugelförmigen Kunststoffkapsel von zwei Milli-

meter Durchmesser, die ihrerseits in einem vergoldeten Metallzylinder sitzt. 192 Laserstrahlen konzentrieren für je 20 milliardstel Sekunden ihr Licht auf das Gold, das verdampft und dabei Röntgenstrahlen aussendet, die wiederum die Kapsel implodieren lassen. Erfolgt die Kontraktion hinreichend symmetrisch, erhitzt sich ihr Zentrum auf bis zu 100 Millionen Kelvin und erreicht eine Dichte weit oberhalb jener von Blei, so dass die Atomkerne des Wasserstoffs zu verschmelzen beginnen.

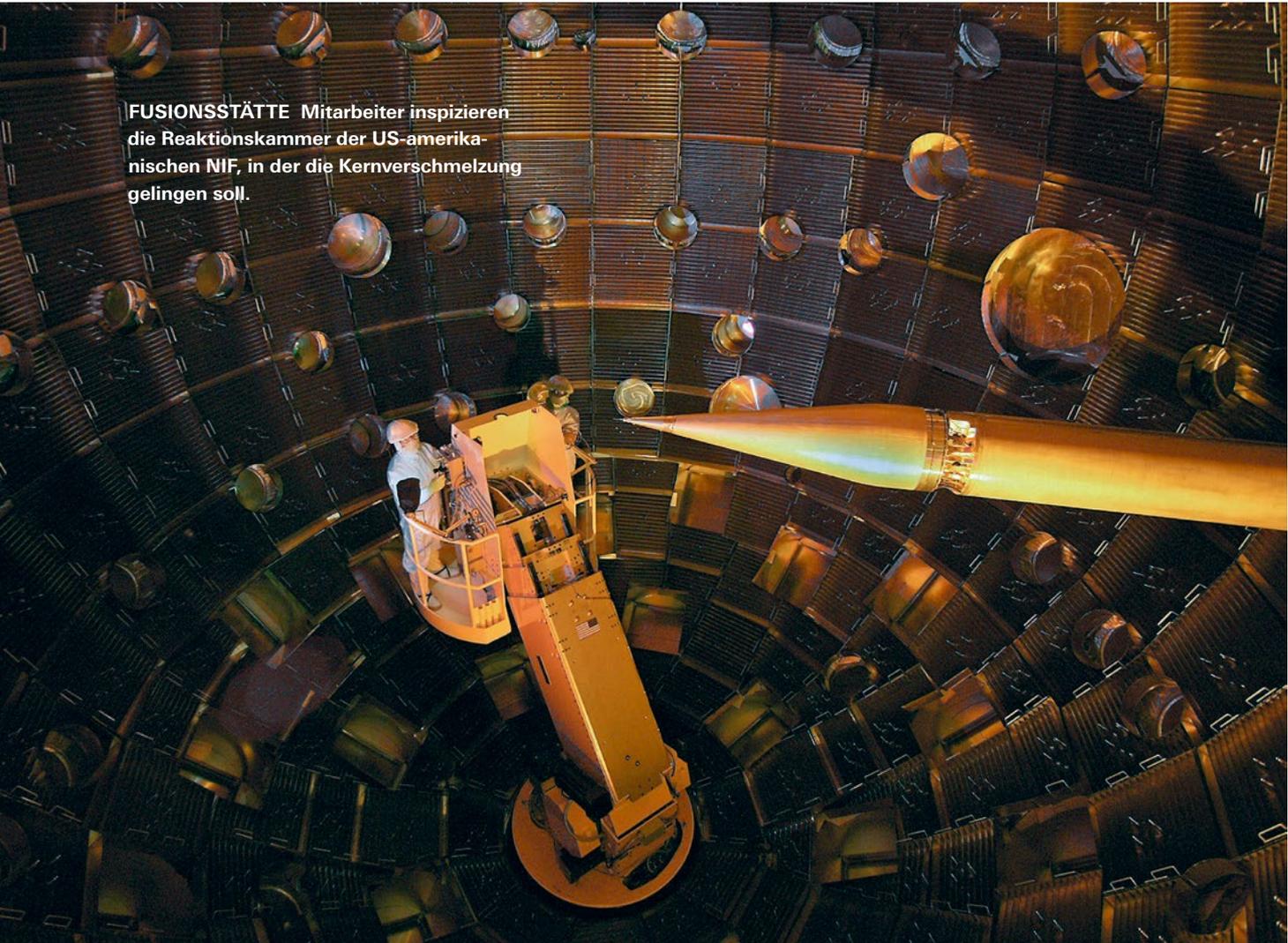
Der Ansatz entpuppte sich als vertrackter als beim Projektstart im Jahr 2009 erwartet. Die jüngsten Fortschritte verdanken sich einem besseren Verständnis der Abläufe; so gelang es, die Kapselwände von mikroskopischen Unregelmäßigkeiten zu befreien. Der Prozess steht und fällt mit der »Zündung«: Die durch erste Verschmelzungen freigesetzte Energie muss so lange im Zentrum der Implosion bleiben, bis die Fusionsreaktion

selbsttätig weiterbrennt und den Großteil des Materials erfasst. Offenbar ist dies nun erstmals ansatzweise erreicht worden.

Allerdings steckt die Methode noch im Frühstadium der Entwicklung. Die freigesetzte Energie fällt zunächst in Form schneller Neutronen an. Um sie nutzbar zu machen, müssten laut der Fachzeitschrift »Science« mindestens zehn Kapseln pro Sekunde beschossen werden – eine gewaltige Herausforderung. Der Erfolg der Laserfusion erscheint darum ebenso ungewiss wie der anderer Verschmelzungsverfahren, etwa das am europäischen Kernfusionsforschungszentrum ITER erprobte.

Die Kernfusion gilt theoretisch als relativ umweltschonend, da sie deutlich weniger radioaktiven Abfall erzeugt als die herkömmliche Kernspaltung. Außerdem besteht bei ihr keine Gefahr einer unkontrollierbaren, zerstörerischen Kernschmelze.

*Science 10.1126/science.abl9769, 2021*



**FUSIONSSTÄTTE** Mitarbeiter inspizieren die Reaktionskammer der US-amerikanischen NIF, in der die Kernverschmelzung gelingen soll.

## BIOLOGIE KLAPPERSCHLANGEN TÄUSCHEN MIT AKUSTISCHEM TRICK

► Das Rasseln der Klapperschlange ist eine akustische Drohgebärde: Es bedeutet Näherkommenden, besser Abstand zu halten. Die Schlange unterstreicht das, indem sie umso schneller klappert, je dichter man an sie heranrückt. Als letztes Mittel greift sie sogar zu einem akustischen Trick, wie ein Forscherteam der Ludwig-Maximilians- und der Technischen Universität in München sowie der Universität Graz berichtet.

Die in Amerika heimischen Klapperschlangen (*Crotalus*) rasseln mit Hilfe lose ineinandersteckender Hornringe am Schwanzende, was ein meterweit hörbares Geräusch erzeugt. Dabei lassen die Tiere die Töne umso schneller aufeinander folgen, je näher ihnen ein Eindringling kommt – ähnlich wie der Abstandssensor eines einparkenden Autos. So wächst die Rasselfrequenz der Texas-Klapperschlange (*Crotalus atrox*) in Experimenten stetig von 40 auf 50 Hertz, während ein Versuchsobjekt an sie heranrückt.

Beim Unterschreiten einer gewissen Distanz erfolgt ein plötzlicher Sprung, wie die Forscher herausfanden: Die Schlangen klappern dann unvermittelt mit 60 bis 100 Hertz.

Vermutlich wirkt die überraschende Änderung auf näherkommende Tiere so, als hätte sich der Abstand schlagartig vermindert. Dafür sprechen jedenfalls Experimente, in denen das Team die Schlangen und ihr Geklapper in einer virtuellen Landschaft simulierten, durch die hindurch menschliche Versuchsteilnehmer eine Spielfigur manövierten. Die Probanden sollten jeweils anhand der Rasselgeräusche abschätzen, ob sie den Schlangen auf rund einen Meter

nahegekommen waren. Bei gleichmäßig zunehmender Klapperfrequenz gelang das recht gut. Stieg die Frequenz jedoch sprunghaft, unterschätzten viele Teilnehmer den Abstand deutlich.

Der Mechanismus dürfte in der Natur dafür sorgen, dass Näherkommende einen Schreckmoment erleben und reflexartig auf Distanz gehen. Die Schlangen vermeiden so beispielsweise, dass große Vierbeiner auf sie treten. Zwar können sie sich mit giftigen Bissen wehren, doch es ist besser für sie, eine solche Kraft raubende Eskalation zu vermeiden.

*Current Biology* 10.1016/j.cub.2021.07.018, 2021

**MAHNUNG**  
Klapperschlangen warnen Herankommende mit einem Rasseln. Es empfiehlt sich, das nicht zu überhören.



TOBIAS KOHL, TU MÜNCHEN

## ERDE/UMWELT UNGBREMSTE FCKW-PRODUKTION HÄTTE VERHEERENDE FOLGEN GEHABT

► Was wäre geschehen, wenn die internationale Staatengemeinschaft sich nicht darauf geeinigt hätte, die Produktion Ozon zerstörender Chemikalien – allen voran Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) – einzuschränken? Dies hat ein Forschungsteam jetzt in einer Modellrechnung analysiert. Ergebnis: Das Montreal-Protokoll von 1989 mit seinem faktischen Verbot solcher Substanzen hat die Welt vor einer dramatischen Erwärmung bewahrt. Ohne es wäre die globale Durchschnittstemperatur bis zum Ende dieses Jahrhunderts um zusätzliche 2,5 Grad weiter gestiegen, als infolge des aktuell stattfindenden Klimawandels zu erwarten ist.

FCKW haben eine doppelte Klimawirkung: Sie sind zum einen hochpotente Treibhausgase, die noch stärker wirken als Kohlenstoffdioxid oder Methan. Dies allein hätte die globale Durchschnittstemperatur um rund 1,7 Grad angehoben, zeigen die Simulationen. Zum anderen wären ohne das Montrealer Abkommen nur noch Reste der Ozonschicht geblieben. Die daraus folgende enorme UV-Belastung am Boden hätte das Pflanzenwachstum beeinträchtigt und damit die Fähigkeit der Vegetation, Kohlenstoff zu binden. Das hätte für eine weitere weltweite Erwärmung von rund 0,8 Grad gesorgt. Zusammengekommen wäre das ein Plus von 2,5 Grad, verglichen mit dem vorin-

dustriellen Mittelwert, das zum ohnehin stattfindenden Temperaturanstieg bis zum Ende dieses Jahrhunderts noch hinzukäme. Das läge weit jenseits der 1,5-Grad-Marke, bis zu der die klimatischen Veränderungen noch als beherrschbar gelten.

Wie die Autorinnen und Autoren betonen, zeigt die Analyse, dass die Bedeutung des Montreal-Protokolls erheblich über den Schutz der Ozonschicht hinausgeht. Wären dem FCKW-Ausstoß keine verbindlichen Grenzen gesetzt worden, hätte das verheerende Konsequenzen für die Biosphäre und das Erdklima gehabt.

*Nature* 10.1038/s41586-021-03737-3, 2021

## PALÄOBIOLOGIE GEPANZERTER URZEIT-GIGANT

▶ Mit einem halben Meter Länge gehörte *Titanokorys gainesi* zu den größten Meeresbewohnern seiner Zeit, des mittleren Kambriums vor mehr als 500 Millionen Jahren. Paläontologen haben zwölf Fossilien der bislang unbekanntenen Art im Burgess-Schiefer entdeckt, einer Fossilagerstätte in den kanadischen Rocky Mountains. Wie Jean-Bernard Caron und Joe Moysiuk vom Royal Ontario Museum in Toronto berichten, handelte es sich bei den Urzeiträubern um primitive Gliederfüßer aus der ausgestorbenen Gruppe der Radiodonta. Markant an *T. gainesi* sei nicht nur seine Größe von rund 50 Zentimetern, sondern auch sein mächtiger zentraler Körperschild (Carapax).

Radiodonta zeichneten sich durch eine rundliche Mundöffnung aus, die ringsherum mit Zähnen besetzt war. Mit Fangarmen schnappten sie ihre



LARS FELIUS / ROYAL ONTARIO MUSEUM

**GUT GERÜSTET** Das kambrische Raubtier *Titanokorys gainesi* besaß einen großen Körperschild. Anhand der Fossilien (rechts) haben Forscher sein Aussehen rekonstruiert (oben).



JEAN-BERNARD CARON / ROYAL ONTARIO MUSEUM

Beute und schoben sie sich in den Schlund. Die Tiere besaßen Facettenaugen ähnlich heutigen Gliederfüßern wie Insekten, Krebstieren und Spinnen. Bei *T. gainesi* steche vor allem der Carapax prominent hervor, der das Tier zu zirka drei Vierteln bedeckte, wie die Forscher schreiben. Vermutlich habe der Räuber am Meeresboden gelebt. Mit seinem Panzer könnte er durchs Sediment gepflügt, Beute aufgescheucht und ergriffen haben.

Gemessen an heutigen Verhältnissen erscheint *T. gainesi* recht klein, doch in der kambrischen Welt war er ein Gigant. Zu den wenigen, die ihn überragten, zählten Wirbellose der Gattung *Anomalocaris*, die 60 bis 120 Zentimeter Länge erreichten und damit die größten Tiere waren, die man aus jener Zeit kennt. Auch sie lebten räuberisch.

*Royal Society Open Science* 10.1098/rsos.210664, 2021

## MATERIALFORSCHUNG METALL MACHT AMEISENKIEFER SCHARF

▶ Ameisen müssen 60 Prozent weniger Kraft aufwenden, um Dinge durchzubeißen, als Tiere mit normalen Zähnen. Daher schneiden sie mühelos Blätter oder brechen gar die Panzer anderer Insekten auf, obwohl ihre Kiefer oft feiner als ein Menschenhaar sind. Ihr Trick ist eine Schneidkante, die dank eingelagerter Metallatome viel schärfer sein kann als klassische Biokomposite, berichtet eine Arbeitsgruppe um Robert M. Schofield von der University of Oregon. Anders als etwa beim Zahnschmelz besteht sie nicht aus Kristallen, die in einer Grundmasse aus Proteinen lagern, sondern aus einem homogenen Material, dessen Proteine über Metallatome wie Zink oder Mangan vernetzt sind. Das macht sie vergleichbar hart wie klassische Biokomposite in Zähnen oder Krebscheren, aber bruchfester.

Das Team um Schofield untersucht seit geraumer Zeit solche mit schweren Elementen angereicherten Biomaterialien – eine Substanzklasse, die nicht nur bei Ameisen, sondern auch Skorpionen, Spinnen und einigen Meerestieren verbreitet ist. Lange schien rätselhaft, welchen Aufbau diese Kompositmaterialien besitzen. Den Messungen zufolge sind ihre Metallatome nicht untereinander verbunden, sondern selbst auf kleinsten Skalen homogen verteilt.

Die Metallatome fungieren als »Querstreben«, die Proteine in sich sowie untereinander vernetzen und das Material härter machen. In bisher bekannten Komposit-Biomaterialien hingegen liegen harte Stoffe neben weichen, und beide nehmen Lasten sehr unterschiedlich auf. Beispielsweise brechen Zähne oft an der Gren-

ze zwischen hartem Mineral und flexiblem Protein, vor allem bei feinen Strukturen.

Die homogener aufgebaute, mittels Zink vernetzte Schneide eines Ameisenkiefers kann hingegen viel dünner sein – und somit viel schärfer. Bei der Blattschneiderameise *Atta cephalotes* ist sie lediglich 50 Nanometer dick. Zudem bildet das Metall mit den Proteinen koordinative Bindungen, die sich lösen und neu knüpfen lassen. Das macht die metallhaltigen Biomaterialien extrem abriebfest, wie mechanische Tests belegen. Entstehen Risse in dem Material, heilt es sich bis zu einem gewissen Grad selbst, weil die Metallatome aufgebrochene Bindungen wieder neu herstellen.

*Nature* 10.1038/s41598-021-91795-y, 2021

## MEDIZIN

**REAKTIVIERTE VIREN VERURSACHEN NEUEN EBOLA-AUSBRUCH**

► Genetische Analysen von Ebolaviren deuten darauf hin, dass der jüngste Ausbruch der Krankheit in Guinea auf reaktivierte Viren zurückgeht, die Genesene zuvor jahrelang in sich getragen hatten. Wie eine Arbeitsgruppe um den Virologen Alpha Kabinet Keita von der Université de Conakry in Guinea berichtet, unterscheidet sich die Erregervariante von 2021 genetisch kaum von jener, die zwischen 2013 und 2016 in Westafrika kursierte.

Damals infizierten sich mindestens 30 000 Menschen mit dem hochgefährlichen Virus, mehr als 11 000 von ihnen starben. Anscheinend trug eine überlebende Person seither den Keim in sich. Aus noch unbekanntem Grund begann der Erreger sich Anfang 2021 wieder zu vermehren und sprang auf andere Menschen über. Dies verursachte einen Ausbruch in der

Region Nzérékoré im Südosten Guineas. Von Januar bis Februar infizierten sich mehr als 20 Personen, 12 von ihnen erlagen dem Virus, bevor die Behörden die Epidemie erstickten. Dies lässt vermuten, dass Ebola-Ausbrüche seltener auf Tier-Mensch-Übertragungen zurückgehen als bisher angenommen.

Keitas Team sequenzierte virales Erbgut von zwölf Patientinnen und Patienten und verglich es mit DNA-Sequenzen der vorherigen Epidemie. Dabei zeigte sich, dass die Varianten eng verwandt waren. Zudem trugen die Erreger von 2021 nur etwa ein Fünftel der Zahl an Punktmutationen, die zu erwarten wäre, wenn das Virus in den zurückliegenden sechs Jahren permanent von Mensch zu Mensch gesprungen wäre. Sie besaßen aber eine Mutation namens A82V, die sie deutlich ansteckender machte.

All das sei nur dadurch zu erklären, dass das Virus in einem Genesenen überdauerte und schließlich wieder aktiv geworden sei, so die Wissenschaftler. Wie das funktioniert, ist allerdings völlig rätselhaft. Der Erreger des Ebolafiebers ist ein RNA-Virus, dem die molekulare Maschinerie fehlt, sich in DNA zu übersetzen – was für einen Einbau ins zelluläre Erbgut nötig wäre. Ohne diesen erscheint es nicht plausibel, dass der Erreger jahrelang im Körper verbleibt. Keita und sein Team vermuten: Der Keim vermehrt sich im Organismus weiterhin, nur sehr langsam. Eine Rolle dabei könnten so genannte immunprivilegierte Gewebe spielen, in denen Entzündungsreaktionen unterdrückt werden, etwa die Augen oder das Gehirn.

*Nature 10.1038/s41586-021-03901-9, 2021*

## ASTRONOMIE

**KOSMISCHE KOLLISION LÖST SUPERNOVA AUS**

► Erstmals gibt es konkrete Anzeichen dafür, dass ein Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch mit einem Begleitstern verschmolzen ist und dadurch eine Supernova ausgelöst hat. Bislang hatten Astronominnen und Astronomen ein solches Ereignis nur theoretisch modellieren können. Dank des Projekts Very Large Array

Sky Survey (VLASS) konnten sie es jetzt beobachten.

VLASS kartiert mit Hilfe zahlreicher Radioteleskope rund 80 Prozent des Himmels. Es wird voraussichtlich rund zehn Millionen kosmische Radioquellen erfassen. In seinem Wellenlängenbereich kann es Objekte beobachten, die von uns aus gesehen hinter interstellaren Staubwolken liegen und deshalb im sichtbaren Licht verborgen bleiben.

Ein Team um Dillon Dong vom California Institute of Technology in Pasadena hat anhand von VLASS-Daten eine Zwerggalaxie untersucht, die etwa 480 Millionen Lichtjahre entfernt ist. Dort existiert nachweislich seit 2017 eine starke Radioquelle, die bei früheren Beobachtungen nicht aufgefallen war. An derselben Stelle hatte sich 2014 ein Gammastrahlenausbruch ereignet, den ein Messgerät der Raumstation ISS aufzeichnete.

Dong und sein Team haben die Daten beider Ereignisse ausgewertet und schließen daraus, dass in der fraglichen Region ein Doppelsternsystem

untergegangen ist. Beide beteiligten Sterne waren wohl deutlich massereicher als unsere Sonne und umrundeten sich auf einer engen Umlaufbahn. Der schwerere Partner brauchte seinen Brennstoff schneller auf, explodierte als Supernova und endete als Schwarzes Loch oder als Neutronenstern. Anschließend kreiselten die Partner immer dichter umeinander und begannen vor zirka 300 Jahren zu verschmelzen. Dabei bildete sich ein Ring aus Gas um sie herum.

Die fortschreitende Verschmelzung störte zunehmend die Kernfusion des noch intakten Sterns. Infolgedessen ließ der Strahlungsdruck in seinem Innern nach und er kollabierte seinerseits in einer Supernova. Sie verursachte den Gammastrahlenausbruch von 2014. Die später nachgewiesene Radiostrahlung entstand, als die Stoßwelle der Explosion den umgebenden Gasring traf, wie aus den spektralen Eigenschaften der dort freigesetzten elektromagnetischen Strahlung hervorgeht.

*Science 10.1126/science.abg6037, 2021*

**STERNTOD** Die Stoßwelle der Supernova trifft den Gasring (Illustration).

