Spektrum.de 11.26

11.26

Spektrum der Wissenschaft

Frühes Universum

Könnten Gravitationswellen
Rätsel der Teilchenphysik lösen?



ÖKOLOGIE **Ein Wald für viele Interessen**

CHEMIE **Gefährdet Raumfahrt die Atmosphäre?**

ARCHÄOLOGIE **Der einzigartige Klang steinzeitlicher Höhlen**

(D) 10,50 EUR · (A/L) 10,90 EUR · (CH) 16,– CHF
D6179E

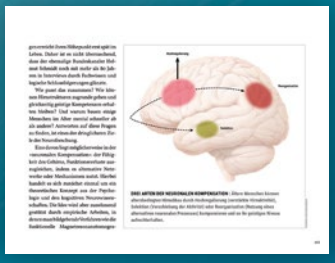
Spektrum der Wissenschaft **KOMPAKT**



Ob A wie Astronomie oder Z wie Zellbiologie: Unsere **Spektrum** KOMPAKT-Digitalpublikationen stellen Ihnen alle wichtigen Fakten zu ausgesuchten Themen als PDF-Download, optimiert für Tablets, zur Verfügung.
Wählen Sie unter mehr als 400 verschiedenen Ausgaben und Themen.













Ausgewählte **Spektrum** KOMPAKT gibt es auch im Printformat!





Hier bestellen:
E-Mail: service@spektrum.de
Spektrum.de/aktion/kompakt



Daniel Lingenhöhl
Chefredakteur

Wald der Zukunft

Der Sommer 2026 wird mir im Gedächtnis bleiben – zumindest bis zum nächsten Jahr: Wochenlang herrschten hier im Südwesten Deutschlands Hitze und Trockenheit. Der Rhein schrumpfte zu einem besseren Rinnsal, die Rettungsdienste meldeten viele Hitzeopfer und regelmäßig brannten Felder und Wälder der Region. Und jeden Tag konnte ich dabei zusehen, wie der Wald oberhalb meiner Nachbarschaft im Neckartal brauner und brauner wurde, weil die Buchen unter Temperatur- und Dürrestress litten, während gleichzeitig die intensive Sonnenstrahlung ihnen die Blätter verbrannte.

Andernorts sah es noch schlimmer aus: Tagelang brannten trockengelegte Moore wie im Hohen Venn an der deutsch-belgischen Grenze, Kiefern im Müritz-Nationalpark in Mecklenburg-Vorpommern oder sogar Mischwälder in der nördlichen Oberpfalz, wo meine Eltern wohnen – in Dimensionen, die dort so bislang niemand kannte. Ausgelöst wurden diese Feuer meist, gewollt oder ungewollt, von Menschenhand; in der ausgetrockneten Vegetation reichte schon der kleinste Zündfunke.

Begünstigt wurden die Brände jedoch auch durch forstwirtschaftliche Entscheidungen der Vergangenheit: Kiefernforste brennen wie Zunder und viel besser und heißer als Misch- oder Laubwälder. Gleichzeitig sterben Fichten flächendeckend ab, weil es ihnen zu warm und trocken wird. Im deutschen Wald muss also umgedacht werden. Und das schnell. Wie das gehen kann, haben sich meine beiden Kolleginnen Verena Tang und Katharina Menne vor Ort in Mittelfranken angesehen. Hier wird wissenschaftlich intensiv begleitet, was einen Wald ausmacht und wie sich etwa ein Mittelwald auf die Artenvielfalt im Ökosystem auswirkt.

Nicht jedem gefällt dieses Bild vom Wald: Wo die Wissenschaft zum Beispiel eine dynamische Naturverjüngung und erhöhte Diversität unter den toten Fichtenwäldern des Bayerischen Waldes erkennt und beobachtet, stören sich Touristen vielleicht an den kahlen Baumskeletten und sähen lieber eine schnelle Aufforstung. Diese gesellschaftlichen Konflikte gilt es auszutragen – möglichst auf Basis der Wissenschaft und vielerorts unter Abwägung der unterschiedlichen Interessen.

Ganz andere Diskussionen finden momentan in der Mathematik statt: Dank künstlicher Intelligenz gibt es im Fachgebiet so rasante Fortschritte, dass manchen bereits schwindelig wird. Nach zahlreichen kleineren und größeren Rätseln hat die KI im September womöglich sogar eines der Millenium-Probleme geknackt, an dem sich viele Mathematiker zuvor jahrzehntelang die Zähne ausgebissen hatten. Oder hat sie einfach plagiiert? Darüber herrscht jetzt heftiger Streit. Manon Bischof berichtet für Sie über die Lösung und die Geschichte dahinter.

Eine spannende Lektüre
wünscht Ihnen



In dieser Ausgabe



Weit zurück in die Vergangenheit des Universums führt uns das Titelthema der Ausgabe: Könnten Gravitationswellen aus dem Echo des Urknalls Rätsel der Teilchenphysik lösen? Was sich dahinter verbirgt, erläutert **Thomas Konstandin** vom Deutschen Elektronen-Synchrotron DESY.

INHALT

3 EDITORIAL

6 SPEKTROGRAMM

TITELTHEMA

12 Teilchenphysik im Echo des Urknalls

Manche Fragen zum Higgs-Feld lassen sich womöglich nicht nur am LHC untersuchen – Gravitationswellen aus dem jungen Universum könnten eine zweite Spur liefern.

Von Thomas Konstandin

FORSCHUNG AKTUELL

20 KI knackt Millennium-Problem

Die Lösung des Navier-Stokes-Problems könnte einer der wichtigsten Momente in der Mathematikgeschichte sein. Doch ein Streit mit OpenAI um die KI-Vorherrschaft überschattet die Ereignisse.

23 Ein zweifelhafter Rekord

Mehrere Faktoren sorgen dafür, dass der Klimawandel in Europa schneller voranschreitet als fast überall sonst auf der Erde.

26 Spin-Qubits holen auf

Gleich vier voneinander unabhängige Forschungsteams melden Durchbrüche bei Quantenprozessoren auf Basis von bislang unterschätzten Spin-Qubits.



MARY SALEH / STOCK.ADOBE.COM

12 Teilchenphysik im Echo des Urknalls

28 99-jährige Mathematikerin löst jahrzehntealtes Rätsel

Jahrzehntelang suchte die Fachwelt nach der Lösung eines geometrischen Rätsels. Nun konnte eine 99-jährige Mathematikerin mit zwei Kolleginnen eine alte Vermutung beweisen.

ÖKOLOGIE

30 Ein Wald für alle

Beim Thema Wald der Zukunft gibt es viele Meinungen. Wie man verschiedene Interessen vereinen kann und dabei noch die Biodiversität fördert, zeigt ein Beispiel aus Bayern.

Von Katharina Menne und Verena Tang

Springers Einwürfe

39 Moral für Maschinen

LASERFUSION

40 »Am Ende geht es auch um die Kosten«

SERIE: KERNFUSION Ein Laserfusionskraftwerk bräuchte jede Menge Hochleistungslaser, die es noch gar nicht am Markt gibt. Was wäre nötig, um das zu ändern?

Von Mike Zeitz

IM BILD

44 Wege zur Fusion

Bei dem Versuch, heißes Plasma zu zünden und daraus Energie zu gewinnen, bringen verschiedene Arten von Reaktoren besondere Herausforderungen mit sich.

Von Clara Moskowitz



SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

30 Ein Wald für alle

ATMOSPHÄRE

46 **Wie schädlich ist Raumfahrt?**

Tausende Satelliten kreisen im Erdorbit. Die meisten werden später einmal in der Atmosphäre verglühen – und Stoffe hinterlassen, die dort nicht hingehören.

Von Thomas Siebel

Schlichting!

54 **Schattentheater an der Zimmerdecke**

Manche Fußböden lassen ähnlich wie Milchglasscheiben ein wenig Licht und Schatten hindurch. Von unten gesehen wirkt das Geschehen fast surreal.

MEDIZIN

56 **Heilende Zellorganellen**

SERIE: MULTITALENTE DER ZELLE Machen transplantierte Mitochondrien durch Sauerstoffmangel geschädigte Organe wieder fit? Erste Studien lassen hoffen – doch viele Fragen sind ungeklärt.

Von Jackie Rocheleau

Freistetters Formelwelt

61 **Eine Faustformel für die Dauer einer Bergtour**

ARCHÄOAKUSTIK

62 **Als Höhlen noch sprechen konnten**

Vor Höhlenbildern haben Fachleute eine erstaunliche Akustik ausgemacht: Die alte Felskunst sollte nicht nur gesehen, sondern auch gehört werden.

Von Benjamin Taub



CALLISTA IMAGES / GETTY IMAGES / CONNECT IMAGES; BEARBEITUNG: SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

Die fabelhafte Welt der Mathematik

70 **Warum der 13. häufiger auf einen Freitag fällt**

Kein Grund zum Fürchten: Spannende Mathematik erklärt, warum der 13. eines Monats so oft auf einen Freitag fällt.

Von Manon Bischoff

74 REZENSIONEN

80 Futur III

81 IMPRESSUM

82 VORSCHAU

TITELBILD:
LIZA / STOCK.ADOBE.COM (ERSTELLT MIT KI);
BEARBEITUNG: SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT



PATRICK AVENTURIER / GETTY IMAGES / GAMMA-RAPHO

Alle Artikel auch digital auf Spektrum.de

Auf »Spektrum.de« berichtet unsere Redaktion täglich aus der Wissenschaft: fundiert, aktuell, exklusiv.



NASA EARTH OBSERVATORY/LAUREN DAUPHIN / AUGUST 14, 2026: LANDSAT 9 (HTTPS://SCIENCE.NASA.GOV/EARTH-EARTH-OBSERVATORY/RARE-WIDESPREAD-SNOW-IN-THE-ATACAMA-DESERT/); BEARBEITUNG: SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

Weiße Wüste

Die Atacamawüste in Chile ist die älteste und trockenste Wüste außerhalb der Polargebiete. Laut einer aktuellen Studie begann die Region bereits vor knapp 50 Millionen Jahren auszutrocknen. Das größtenteils mehr als 2500 Meter hohe Plateau liegt im Regenschatten zweier Gebirgsketten und im Einflussbereich eines stabilen Hochdruckgebiets im Südostpazifik. Zusammen halten sie feuchte Luft von der Westküste Südamerikas fern; der kalte Humboldtstrom vor der Küste verstärkt die Trockenheit noch. Teile der Atacama haben seit Jahrhunderten keine Niederschläge erlebt.

Doch im August 2026 zogen zwei Stürme über das Gebiet und überzogen die Einöde mit einer dicken Schneedecke – darunter auch das Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA), eines der größten Radioteleskope weltweit. Das Observatorium unterbrach seine Messungen und brachte die 66 Antennen in ihre Schutzposition. Auf dem Bild liegt ALMA unten etwas links der Mitte bei einem auffälligen Vulkankegel. Bereits in den Jahren 2025 und 2011 hatte es in der Region geschneit, aber seit Menschengedenken nicht mehr in diesem Ausmaß: Die Schneedecke bedeckte einen Streifen der Wüste von den Anden fast bis zur Küste. Die ungewöhnlich ergiebigen Niederschläge, die an der chilenischen Pazifikküste sogar Erdrutsche und Schlammströme auslösten, haben womöglich mit dem außerordentlich starken El Niño zu tun. Dieses Wettermuster schwächt das Hochdruckgebiet im Südpazifik, sodass Stürme in die normalerweise sehr trockene Region vordringen können.



NASA EARTH OBSERVATORY/LAUREN DAUPHIN / AUGUST 14, 2026: LANDSAT 9 (HTTPS://SCIENCE.NASA.GOV/EARTH/EARTH-OBSERVATORY/RARE-WIDESPREAD-SNOW-IN-THE-ATACAMA-DESERT/); BEARBEITUNG: SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT