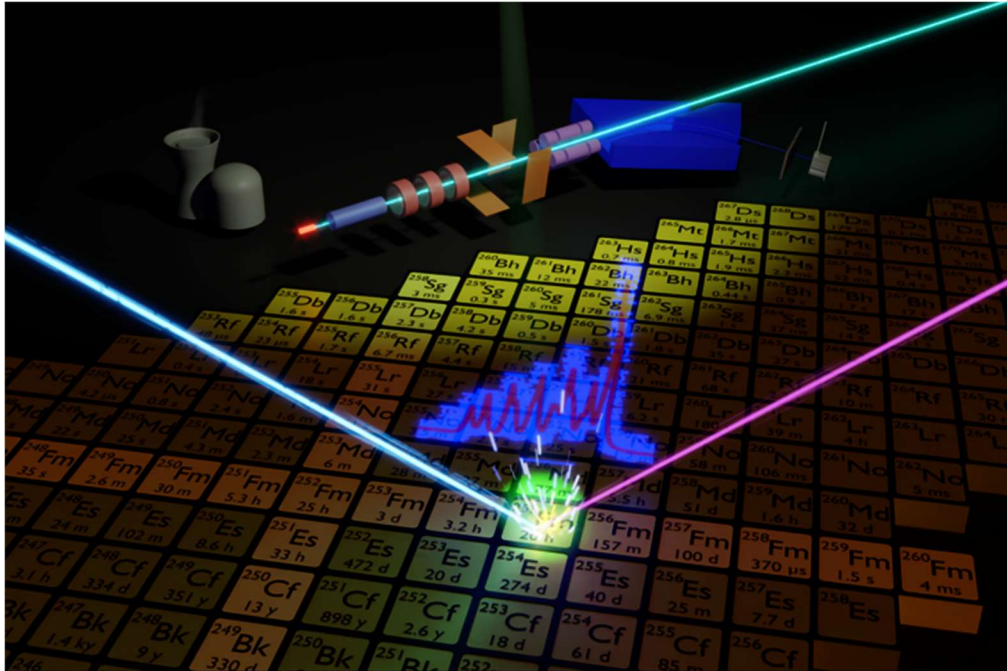


Laser spectroscopy helps reveal hidden nuclear properties in fermium

First high-precision measurements of the fermium-255 nucleus validate modern nuclear models and advance the search for superheavy elements



*Graphical illustration of the nuclear chart and of the RISIKO mass separator used in these studies.
© Sebastian Raeder / HIM/GSI*

For the first time, researchers have determined the shape of the actinide nucleus of fermium-255 and measured its structure with high precision and resolution. This breakthrough, published in *Physical Review Letters*, supports modern theoretical models and opens new possibilities for understanding the behavior of the heaviest atomic nuclei.

Studying the shapes of atomic nuclei provides essential insights into their internal structure. In very heavy nuclides, nuclear shape is closely linked to their stability against spontaneous fission and is therefore a key factor in the search for longer-lived superheavy elements. Spontaneous fission arises from the strong repulsion between the many protons in heavy nuclei and ultimately limits the existence of elements beyond uranium (element 92).

Investigations of these nuclei are highly challenging due to their extremely limited availability from artificial production. Their study requires dedicated production routes as well as highly sensitive experimental techniques. In the present work, intricate production pathways spanning several years and multiple facilities yielded samples containing only a few billion atoms. This was nevertheless sufficient to perform advanced laser spectroscopy on fermium-255, which contains 100 protons and 155 neutrons in its nucleus. By probing the substructure of atomic energy levels in the electron shell, which is sensitive to nuclear properties, researchers were able to extract information about the nuclear shape.

The experiments were carried out by an international collaboration of scientists and engineers from 18 institutions, led by Johannes Gutenberg University Mainz (JGU), the Helmholtz Institute Mainz (HIM), which is a branch of GSI/FAIR, Germany, and the University of Gothenburg, Sweden, which is also the home institution of the paper's first author, Mitzi

10.08.2026 | Joint press release of Johannes Gutenberg University Mainz, GSI/FAIR, and HÜBNER Photonics GmbH (Germany) together with the University of Gothenburg (Sweden)

Urquiza-González. HÜBNER Photonics GmbH contributed to the project by hosting and supporting Mitzi Urquiza-González during her PhD and through its expertise in advanced laser technology, which was essential for the successful realization of the experiment.

By combining the experimental data on the hyperfine structure of the optical spectrum with advanced atomic theory calculations, the researchers determined that the fermium-255 nucleus is strongly prolate, resembling a rugby ball. The new measurements correct unphysical values in standard tabulations based on earlier reports and are well described by state-of-the-art nuclear models.

Structure of the atomic nucleus and interaction with the electron shell

Atoms consist of a very small, positively charged nucleus surrounded by a cloud of electrons. The innermost of these electrons move very close to the nucleus and are therefore sensitive to its size, shape, and magnetic properties. By studying these effects with high-precision laser spectroscopy, scientists can learn about the structure of the nucleus. This is done by shining laser light onto the atoms and carefully tuning its color (frequency) to detect tiny changes in the electrons' energy levels between quantum states.

Most atomic nuclei are not perfectly round, but deformed, with many resembling a rugby ball. This has important consequences for their interaction with the electric field generated by the surrounding electrons. A second electromagnetic effect occurs in nuclei that contain an odd number of neutrons: they act as tiny magnets. Overall, the interplay of such nuclei with their electron shell leads to a tiny splitting of electronic transitions into several closely spaced levels. This is referred to as the hyperfine interaction. These splittings can be measured with high accuracy using laser spectroscopy techniques, which thus inform about details of the nucleus.

The first atomic energy levels of fermium were observed more than 20 years ago at JGU. However, due to technical limitations at the time, the hyperfine structure could not be resolved, leading to incomplete and partly inconsistent nuclear data.

From isotope production to laser spectroscopy

Fermium does not occur naturally and must be produced artificially, making experimental investigations particularly demanding. The production of fermium-255 began with months-long neutron irradiations of transuranium material at the High Flux Isotope Reactor at Oak Ridge National Laboratory (USA), producing einsteinium-254. After initial use in experiments in the USA, the material was transported to Mainz (Germany) for initial processing before it was sent to the Institute Laue-Langevin in France to undergo further neutron irradiation to produce einsteinium-255. This isotope, which decays to fermium-255, was finally returned to Mainz.

With its half-life of 40 days, einsteinium-255 acts as a continuous source of fermium-255 over several weeks. Regular chemical separations at JGU allowed the preparation of multiple samples containing between several tens of millions and up to one billion atoms for the spectroscopy experiments.

The highly sensitive laser spectroscopy measurements were performed at the RISIKO separator at JGU. In the experiment, the fermium samples were heated to approximately 1,000 degrees Celsius, causing atoms to evaporate. These atoms were then irradiated with laser light, and resonant excitation led to ionization, enabling selective detection. The team

10.08.2026 | Joint press release of Johannes Gutenberg University Mainz, GSI/FAIR, and HÜBNER Photonics GmbH (Germany) together with the University of Gothenburg (Sweden)

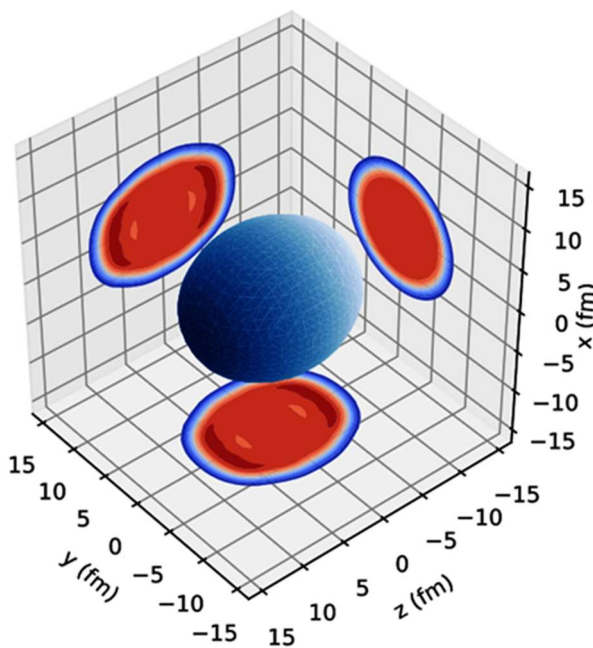
successfully resolved the hyperfine structure of two optical transitions, made possible by custom-built Ti:sapphire laser systems and extensive expertise in handling extremely small sample quantities.

Theoretical calculations in agreement with experimental findings

To interpret the experimental spectra, dedicated atomic theory calculations were carried out at Jagiellonian University in Kraków, Poland, and at HIM in Mainz. These calculations confirmed the strongly deformed nuclear shape and yielded a magnetic dipole moment that disagrees with previously tabulated values and corrects these. The results are in excellent agreement with modern nuclear theory predictions developed at CEA Arpajon (France), IP2I Lyon (France), and the Technical University of Darmstadt (Germany).

The experiment fills an important gap in our knowledge of nuclear properties in the heaviest elements and demonstrates that precision measurements are possible even with extremely small quantities of material.

By providing accurate information on nuclear shape and magnetic properties in such heavy systems, the results directly improve models of nuclear fission, helping to predict the stability of yet unknown superheavy elements and guiding future discoveries at the limits of the periodic table. (CP)



Charge density: Schematic presentation of the projected charge density of the fermium-255 nucleus at the mean field level as calculated by nuclear theory. Sizes are given in femtometers (fm).

© Michael Bender / Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS/INP2P3, IP2I Lyon

- [Press release](#) at the Johannes Gutenberg University Mainz (JGU) (german/english)
- **Publication** in *Physical Review Letters*:
Urquiza-González, M., Stemmler, M., Albrecht, T.E., Bally, B., Bender, M., Berndt, S., Block, M., Brizard, A., Andrews, J.S., Bieroń, J., Chhetri, P., Dorrer, H., Düllmann, Ch. E., Ezold, J.G., Goriely, S., Gutiérrez, M.J., Hanstorp, D., Hasse, R., Heinke, R., Hens, K., Hilaire, S., Kaja, M., Kieck, T., Kneip, N., Köster, U., Loria Basto, A.T., Mokry, C., Münzberg, D., Myhre, K., Niemeyer, T., Péru, S., Raeder, S., Renisch, D., Runke, J., Schrell, S.K., Studer, D., Van Beek, K., Warbinek, J., Wendt, K.

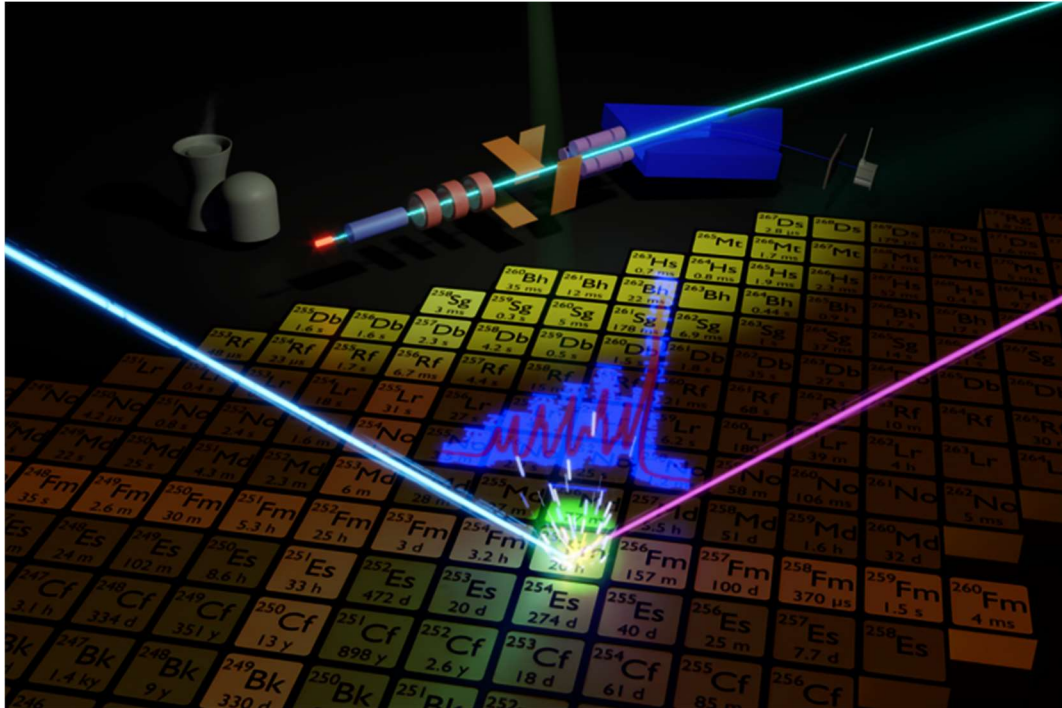
High-Resolution Laser Spectroscopy on the Hyperfine Structure of ^{255}Fm ($Z=100$)

[Phys. Rev. Lett. 136, art. no. 192501 \(2026\)](#)

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08062-z>

Laserspektroskopie bringt versteckte Kerneigenschaften in Fermium zum Vorschein

Hochpräzise Vermessungen des Fermium-255-Kerns bestätigen moderne Kernmodelle und begünstigen die weitere Suche nach superschweren Elementen



Graphische Illustration der Nuklidkarte und des RISIKO-Massenseparators.
© Sebastian Raeder / HIM/GSI

Ihre Masse ist extrem gering, doch wie leicht sind Neutrinos wirklich? Eine Kollaboration deutscher und internationaler Forschungsgruppen, darunter auch das Helmholtz-Institut Mainz und GSI/FAIR, hat ihre Experimente zur Massebestimmung dieser „Geisterteilchen“ optimiert. Dabei ist es gelungen, die bisher im Rahmen ähnlicher Messungen ermittelte Obergrenze auf der Neutrinomassenskala weiter nach unten zu verschieben. Die Ergebnisse sind im Fachmagazin *Physical Review Letters* veröffentlicht.

Erstmals ist es Forschenden gelungen, die Form des Atomkerns von Fermium-255 zu bestimmen und dessen Struktur mit hoher Präzision und Auflösung zu vermessen. Dieser Durchbruch, veröffentlicht in *Physical Review Letters*, stützt moderne theoretische Modelle und eröffnet neue Möglichkeiten für das Verständnis der Eigenschaften der schwersten Atomkerne.

Die Untersuchung der Formen von Atomkernen liefert wichtige Erkenntnisse über deren innere Struktur. Bei sehr schweren Nukliden hängt die Kernform eng mit ihrer Stabilität gegenüber der spontanen Kernspaltung zusammen und ist daher ein entscheidender Faktor bei der Suche nach langlebigeren superschweren Elementen. Die Spontanspaltung beruht auf der starken gegenseitigen Abstoßung der vielen Protonen in schweren Kernen und beschränkt letztlich die Existenz von Elementen jenseits von Uran (Element 92).

Die Untersuchung solcher Kerne stellt eine große Herausforderung dar, da sie nur künstlich und in äußerst begrenzter Menge hergestellt werden können. Ihre Erforschung erfordert spezielle Produktionsverfahren sowie hochempfindliche experimentelle Techniken. In der

vorliegenden Arbeit führten komplexe Produktionswege, die sich über mehrere Jahre und verschiedene Einrichtungen erstreckten, zu Proben, die nur einige Milliarden Atome enthielten. Dies reichte dennoch aus, um hochpräzise Laserspektroskopie an Fermium-255 durchzuführen, dessen Kern 100 Protonen und 155 Neutronen enthält. Da die atomaren Energieniveaus in der Elektronenhülle von Fermium-255-Atomen empfindlich auf Kerneigenschaften reagieren, konnten die Forschenden durch deren Untersuchung Informationen über die Kernform gewinnen.

Die Experimente wurden im Rahmen einer internationalen Kollaboration von Wissenschaftler*innen und Ingenieur*innen aus 18 Institutionen durchgeführt – unter der Leitung der Johannes Gutenberg-Universität Mainz (JGU), des Helmholtz-Instituts Mainz (HIM) als Außenstelle von GSI/FAIR Darmstadt und der Universität Göteborg in Schweden, an der auch die Erstautorin der aktuellen Studie, Mitzi Urquiza-González, tätig ist. Die HÜBNER Photonics GmbH trug zum Projekt bei, indem sie Mitzi Urquiza-González während ihrer Promotion aufnahm und unterstützte sowie ihre Expertise im Bereich fortschrittlicher Lasertechnologie zur Verfügung stellte, die für die erfolgreiche Durchführung des Experiments von entscheidender Bedeutung war.

Die Kombination der experimentellen Daten zur Hyperfeinstruktur des optischen Spektrums mit modernsten atomtheoretischen Berechnungen erlaubte den Forschenden die Feststellung, dass der Fermium-255-Kern stark länglich deformiert ist und einem Rugbyball ähnelt. Die neuen Messungen korrigieren unphysikalische Werte in Standardtabellen, die auf früheren Berichten basieren, und lassen sich durch modernste Kernmodelle gut beschreiben.

Aufbau des Atomkerns und Wechselwirkung mit der Atomhülle

Atome bestehen aus einem sehr kleinen positiv geladenen Kern, der von einer Elektronenwolke umgeben ist. Die innersten dieser Elektronen bewegen sich sehr nahe am Kern und reagieren daher empfindlich auf dessen Größe, Form und magnetische Eigenschaften. Durch die Untersuchung dieser Effekte mit hochpräziser Laserspektroskopie können Forschende Erkenntnisse über die Struktur des Kerns gewinnen. Dazu wird Laserlicht auf die Atome gerichtet und dessen Farbe (Frequenz) sorgfältig abgestimmt, um winzige Veränderungen in den Energieniveaus der Elektronen zwischen den Quantenzuständen nachzuweisen.

Die meisten Atomkerne sind nicht perfekt rund, sondern deformiert, wobei viele einem Rugbyball ähneln. Dies hat wichtige Auswirkungen auf ihre Wechselwirkung mit dem von den umgebenden Elektronen erzeugten elektrischen Feld. Ein zweiter elektromagnetischer Effekt tritt bei Kernen auf, die eine ungerade Anzahl von Neutronen enthalten: Sie wirken wie winzige Magnete. Insgesamt führt das Zusammenspiel solcher Kerne mit ihrer Elektronenhülle zu einer winzigen Aufspaltung der elektronischen Übergänge in mehrere eng beieinanderliegende Niveaus. Dies wird als Hyperfeinwechselwirkung bezeichnet. Diese Aufspaltungen lassen sich mithilfe von fortschrittlichen Laserspektroskopie-Verfahren hochpräzise vermessen, woraus detaillierte Informationen über den Kern gewonnen werden.

Die erstmalige Beobachtung von Energieniveaus in Fermium-Atomen gelang vor mehr als 20 Jahren an der JGU. Aufgrund der damaligen technischen Einschränkungen konnte die Hyperfeinstruktur jedoch nicht aufgelöst werden, was zu unvollständigen und teilweise widersprüchlichen Kerndaten führte.

Von der Isotopenproduktion zur Laserspektroskopie

Fermium kommt in der Natur nicht vor und muss künstlich hergestellt werden, was experimentelle Untersuchungen besonders anspruchsvoll macht. Die Herstellung von Fermium-255 begann mit monatelangen Neutronenbestrahlungen von Transuranmaterial im Hochfluss-Isotopenreaktor des Oak Ridge National Laboratory (USA), wodurch Einsteinium-254 entstand. Nach dem ersten Einsatz in Experimenten in den USA wurde das Material zur Präparation der Laserspektroskopie-Experimente an die JGU transportiert, von wo aus sie anschließend ans Institut Laue-Langevin in Frankreich weitergeleitet wurden. Dort wurden sie einer weiteren Neutronenbestrahlung unterzogen, bei der Einsteinium-255 erzeugt wurde. Dieses Isotop, das zu Fermium-255 zerfällt, wurde schließlich nach Mainz zurückgebracht.

Mit seiner Halbwertszeit von 40 Tagen dient Einsteinium-255 über mehrere Wochen hinweg als kontinuierliche Quelle für Fermium-255. Regelmäßige chemische Trennungen an der JGU ermöglichten die Herstellung mehrerer Proben mit einem Gehalt von mehreren zehn Millionen bis zu einer Milliarde Atomen für die spektroskopischen Experimente.

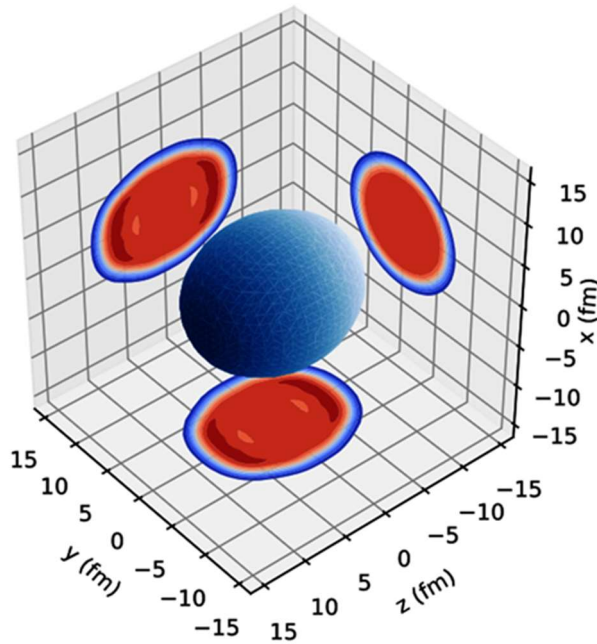
Die hochempfindlichen Laserspektroskopie-Messungen wurden am RISIKO-Separator der JGU durchgeführt. Im Experiment wurden die Fermium-Proben auf etwa 1.000 Grad Celsius erhitzt, wodurch Atome verdampften. Diese Atome wurden anschließend mit Laserlicht bestrahlt. Die resonante Anregung führte zur Ionisierung, was einen selektiven Nachweis ermöglichte. Dem Team gelang es, die Hyperfeinstruktur zweier optischer Übergänge aufzulösen – ermöglicht durch maßgeschneiderte Ti:Saphir-Lasersysteme und umfassende Fachkenntnisse im Umgang mit extrem kleinen Probenmengen.

Theoretische Berechnungen stimmen mit experimentellen Ergebnissen überein

Zur Interpretation der experimentellen Spektren wurden an der Jagiellonen-Universität in Krakau (Polen) und am HIM in Mainz spezielle atomtheoretische Berechnungen durchgeführt. Diese Berechnungen bestätigten die stark deformierte Kernform und ergaben ein magnetisches Dipolmoment, das von zuvor tabellierten Werten abweicht und diese korrigiert. Die Ergebnisse stimmen hervorragend mit den Vorhersagen der modernen Kernphysik überein, die am CEA Arpajon (Frankreich), am IP2I Lyon (Frankreich) und an der Technischen Universität Darmstadt (Deutschland) entwickelt wurden.

Das Experiment schließt eine wichtige Lücke in unserem Wissen über die Kerneigenschaften der schwersten Elemente und zeigt, dass Präzisionsmessungen selbst mit extrem geringen Materialmengen möglich sind.

Durch die Bereitstellung genauer Informationen über die Kernform und die magnetischen Eigenschaften in solch schweren Systemen verbessern die Ergebnisse direkt die Modelle der Kernspaltung, tragen zur Vorhersage der Stabilität noch unbekannter superschwerer Elemente bei und weisen den Weg für zukünftige Entdeckungen an den Grenzen des Periodensystems. (CP)



Ladungsdichteverteilung -

Schematische Darstellung der projizierten Ladungsdichteverteilung des Fm-255-Atomkerns, wie sie aus kerntheoretischen Berechnungen folgt. Größenangaben in Femtometern (fm).

© Michael Bender / Université Claude Bernard Lyon 1, CNRS/INP2P3, IP2I Lyon

- [Pressemitteilung](#) Johannes Gutenberg-Universität Mainz (JGU) (deutsch/englisch)
- **Publikation** in *Physical Review Letters*:
Urquiza-González, M., Stemmler, M., Albrecht, T.E., Bally, B., Bender, M., Berndt, S., Block, M., Brizard, A., Andrews, J.S., Bieroń, J., Chhetri, P., Dorrer, H., Düllmann, Ch. E., Ezold, J.G., Goriely, S., Gutiérrez, M.J., Hanstorp, D., Hasse, R., Heinke, R., Hens, K., Hilaire, S., Kaja, M., Kieck, T., Kneip, N., Köster, U., Loria Basto, A.T., Mokry, C., Münzberg, D., Myhre, K., Niemeyer, T., Péru, S., Raeder, S., Renisch, D., Runke, J., Schrell, S.K., Studer, D., Van Beek, K., Warbinek, J., Wendt, K.

High-Resolution Laser Spectroscopy on the Hyperfine Structure of ^{255}Fm ($Z=100$)

[Phys. Rev. Lett. 136, art. no. 192501 \(2026\)](#)

DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-024-08062-z>

Kontakt:

[Professor Dr. Christoph Düllmann](#)

Department Chemie– TRIGA

Johannes Gutenberg Universität Mainz

55099 Mainz

phone: +49 6131 39-25852

e-mail: duellmann@uni-mainz.de