

# Auf geht's: Goethe-Universität beteiligt sich mit vier neuen und einem bestehenden Forschungscluster am Wettbewerb der Exzellenzstrategie

Für die anstehende Runde der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder bewirbt sich die Goethe-Universität Frankfurt mit vier neuen Clustern zu den Forschungsthemen Vertrauen im Konflikt (CONTRUST), Infektion und Entzündung (EMTHERA), Ursprung der schweren Elemente (ELEMENTS) und zelluläre Architekturen (SCALE). Die Anträge vereinen die Kompetenzen und zukunftsweisenden Ideen der Goethe-Universität mit denen der Kolleg\*innen des Verbunds



## Ursprung der Schwerelemente: ELEMENTS

Wer verstehen will, warum es im Universum schwere Elemente gibt, muss Neutronensterne, Kilonovae und Gravitationswellen erkunden. Im Clusterprojekt ELEMENTS haben sich rund hundert Teilchen- und Astrophysiker\*innen mit diesem Ziel zusammengeschlossen.

Unser Universum ist voller Extreme: In unvorstellbar weiter Entfernung kollidieren unglaublich massive und kompakte Objekte, um die allerwinzigsten Teilchen freizusetzen. Genau diese extremen Phänomene sind ein zentrales Thema des Forschungsprojekts ELEMENTS (Exploring the Universe from Microscopic to Macroscopic Scales). Das rund 100-köpfige Team von Physiker\*innen arbeitet gemeinsam an der Frage, wie schwere Elemente, zum Beispiel Kupfer, Gold und Blei, im Universum entstehen. „Wir betreiben Grundlagenforschung – denn Gold ist überall um uns herum, aber es ist nicht auf unserem Planeten entstanden“, erklärt ELEMENTS-Sprecher Professor Luciano Rezzolla vom Institut für Theoretische Physik an der Goethe-Universität. „Es kommt aber auch nicht aus den Sternen, die nur sehr wenig schwere Elemente produzieren.“ Die Theoretiker\*innen und Experimentator\*innen möchten also im Prinzip wissen, woher unser Gold kommt.

### Naturgewalt Neutronensterne

Dafür braucht es einige Zutaten und viel Zeit. Am Ende seines langen Lebens kollabiert ein Stern unter seiner eigenen Schwerkraft und explodiert als Supernova. Dabei werden Gas, Staub und jede Menge Energie in den umliegenden Raum geschleudert. Später sind diese Überreste als Nebel mit faszinierenden Formen und Farben sichtbar. Je nachdem, wie massereich („groß“) der Stern ursprünglich war, entsteht ein stellares Schwarzes Loch oder ein Neutronenstern. Während die Schwarzen Löcher weithin bekannt sind, werden ihre kleinen Brüder, die Neutronensterne, wenig beachtet. Dabei handelt es sich hier um ein weiteres Objekt der Superlative: Die Dichte innerhalb eines Neutronensterns ist so groß, dass er trotz einer Masse von etwa zwei Sonnen im Durchmesser nur so groß ist wie Frankfurt am Main!

### Wie schwere Elemente entstehen

Es braucht gleich zwei von diesen außergewöhnlichen astronomischen Objekten, um schwere Elemente entstehen zu lassen – und sie müssen kollidieren. Wenn zwei Neutronensterne mit ihren gewaltigen Massen zusammenstoßen, kommt es zu einer so-

nannten Kilonova, ein Phänomen, das erst 2017 durch die Messung von Gravitationswellen nachgewiesen wurde. Es wird davon ausgegangen, dass bei dieser Verschmelzung ein Zustand ähnlich dem in den ersten Sekunden nach dem Urknall herrscht, das sogenannte Quark-Gluon-Plasma. Quarks und Gluonen sind die elementaren Bestandteile von Atomkernen und somit Bausteine eines jeden Elements. Nur unter solch extremen Bedingungen wird ihre Anziehung aufgebrochen und die Entstehung schwerer Elemente erst möglich. Die Wissenschaftler\*innen des Clusterprojekts erforschen auf verschiedenen Wegen die Prozesse in diesen extremen Zuständen von Materie, wie schwere Elemente entstehen können und wie sich diese komplexen Interaktionen messen und von der Erde aus beobachten lassen. Während an den Teilchenbeschleunigern in Darmstadt auf mikroskopischer Ebene experimentiert wird, nähert man sich dem Problem an der Goethe-Uni von theoretischer Seite. Dabei spielen Open Science und Open Access (dt. Offene Wissenschaft bzw. Offener Zugang, also die freie Verfügbarkeit von Daten und Ergebnissen) eine große Rolle: „Wir produzieren im Labor Daten auf ganz anderen Skalen als beispielsweise Astrophysiker\*innen“, sagt Arbeitsgruppenleiterin Hannah Elfner. „Durch Open Science wird eine produktive interdisziplinäre Zusammenarbeit überhaupt erst möglich.“

### Supercomputer errechnen komplexe Modelle

„Wir befassen uns hier mit sehr komplexen wissenschaftlichen Fragen, die keine Einzelperson oder meine Arbeitsgruppe allein beantworten könnte, nicht ohne ein paar Jahrhunderte Zeit zu haben. Wir brauchen hier ein sehr großes Team“, erklärt Luciano Rezzolla. So errechnet sein Team mithilfe von Hochleistungsrechnern, wie dem „Goethe NHR“, der kürzlich für seine Energieeffizienz ausgezeichnet wurde, komplexe Modelle und Simulationen, die unerlässlich für die Interpretation astronomischer Beobachtungen sind. Basierend auf Einsteins Allgemeiner Relativitätstheorie können so Schwarze Löcher, Neutronensterne und ihre gewaltigen Interaktionen beschrieben und erklärt werden.

### Mit Lichtgeschwindigkeit den Elementen auf der Spur

Die Arbeitsgruppe um Co-Sprecher Prof. Norbert Pietralla von der Technischen Universität Darmstadt holt hingegen am Elektronenbeschleuniger „S-DALINAC“ das Universum direkt ins Labor und kann mit dem weltweit einzigartigen Energierückgewinnungsmodus Teilchen hocheffizient beschleunigen. Dabei drehen die Elektronen mehrere Runden durch den Hauptbeschleuniger, was erhebliche Mengen Energie einspart. Bei nahezu Lichtgeschwindigkeit können so die Wechselwirkungen bei der Entstehung neuer Elemente untersucht werden.

Phyllis Mania

der Rhein-Main-Universitäten (RMU) und weiterer Partner der vier großen Organisationen der außeruniversitären Forschung. Der seit 2019 bestehende Exzellenzcluster Cardiopulmonary Institute (CPI) wird im kommenden Jahr direkt einen Vollantrag einreichen. In den kommenden Ausgaben des UniReport sollen verschiedene Stimmen aus den Clusterinitiativen zu Wort kommen, den Auftakt macht Prof. Luciano Rezzolla.



V. l. n. r.: Krebsnebel (NASA and ESA, Foto: M. Weisskopf/Marshall Space Flight Center), Teilchenbeschleuniger (Foto: Klaus Mai; TU Darmstadt), Simulation kollidierender Neutronensterne (Foto: Luciano Rezzolla, Goethe-Universität).

## Fragen an Prof. Luciano Rezzolla, Sprecher von ELEMENTS

### UniReport: Welches Ziel verfolgen Sie mit der Exzellenzförderung?

**Luciano Rezzolla:** Das Ziel, das ich und alle meine Kolleg\*innen gemeinsam verfolgen, ist die grundsätzliche Frage, „Woher kommt Gold?“ zu beantworten. Und zwar nicht, weil wir so sehr an Gold interessiert sind, sondern weil Gold eines der schweren Elemente auf unserem Planeten ist, von denen wir nicht wissen, woher sie kommen. Und das ist, wenn man darüber nachdenkt, ziemlich bizarr. Um diese Frage zu beantworten, ist ein komplexes Instrumentarium erforderlich, das neben der Theorie auch Experimente und astronomische Beobachtungen umfasst. Es ist also wirklich so, als würde man ein ganzes Orchester zusammenstellen, in dem viele Musiker mitwirken, sodass wir am Ende des Tages eine Symphonie hören können, die uns sagt, woher die schweren Elemente kommen.

### Welchen persönlichen wissenschaftlichen Traum könnten Sie damit verwirklichen?

Mein persönlicher Traum ist es, bei der Untersuchung dieser sehr einfachen Frage eine weitere beantworten zu können, nämlich: „Was ist die Struktur und Zusammensetzung von Neutronensternen?“ Das bezeichnen wir als Zustandsgleichungen von Neutronensternen. Ich hoffe also, dass wir durch die Verfolgung der Frage „Woher kommt das Gold?“ auch viel über Neutronensterne erfahren werden, die zu den faszinierendsten Objekten gehören, die wir uns vorstellen können.



Luciano Rezzolla. Foto: Uwe Dettmar

### Welches sind die wichtigsten Schritte für den Vollantrag?

Zunächst einmal müssen wir aufgefordert werden, einen Vollantrag einzureichen, und das ist keineswegs einfach. Das letzte Mal, als wir es versucht haben, sind wir bereits in diesem Stadium gescheitert. Im Grunde genommen besteht die nächste Hürde darin, die Gutachter\*innen davon zu überzeugen, dass unsere Wissenschaft es wert ist, gefördert zu werden, so-

dass wir einen detaillierteren Antrag einreichen können. Noch in diesem Jahr werden wir mit den Gutachter\*innen und dem DFG-Gremium darüber diskutieren.

### Was sollte die Gesellschaft über Ihre Forschung wissen?

Ich hoffe, dass wir die Öffentlichkeit davon überzeugen können, dass es Objekte gibt, die einer sehr starken Schwerkraft unterliegen, die aber keine Schwarzen Löcher sind. Oft denken die Leute, dass Schwarze Löcher die faszinierendsten Objekte im Universum sind, und das sind sie auch, aber es gibt ebenso faszinierende, ganz andere Objekte, nämlich Neutronensterne. Aus bestimmten Blickwinkeln betrachtet sind Neutronensterne sogar noch faszinierender, weil sie wirklich alle Naturgesetze im extremsten Bereich verkörpern. Ich hoffe, dass am Ende dieses Vorhabens Neutronensterne genauso berühmt sind wie Schwarze Löcher.