

DIE GROSSE ERZÄHLUNG

Wie konnten aus den Anfangsbedingungen des Urknalls nicht nur die Strukturen des Universums entstehen, sondern auch das Leben auf der Erde?
Viel Stoff für den neuen Forschungsverbund Origins in München und Garching.

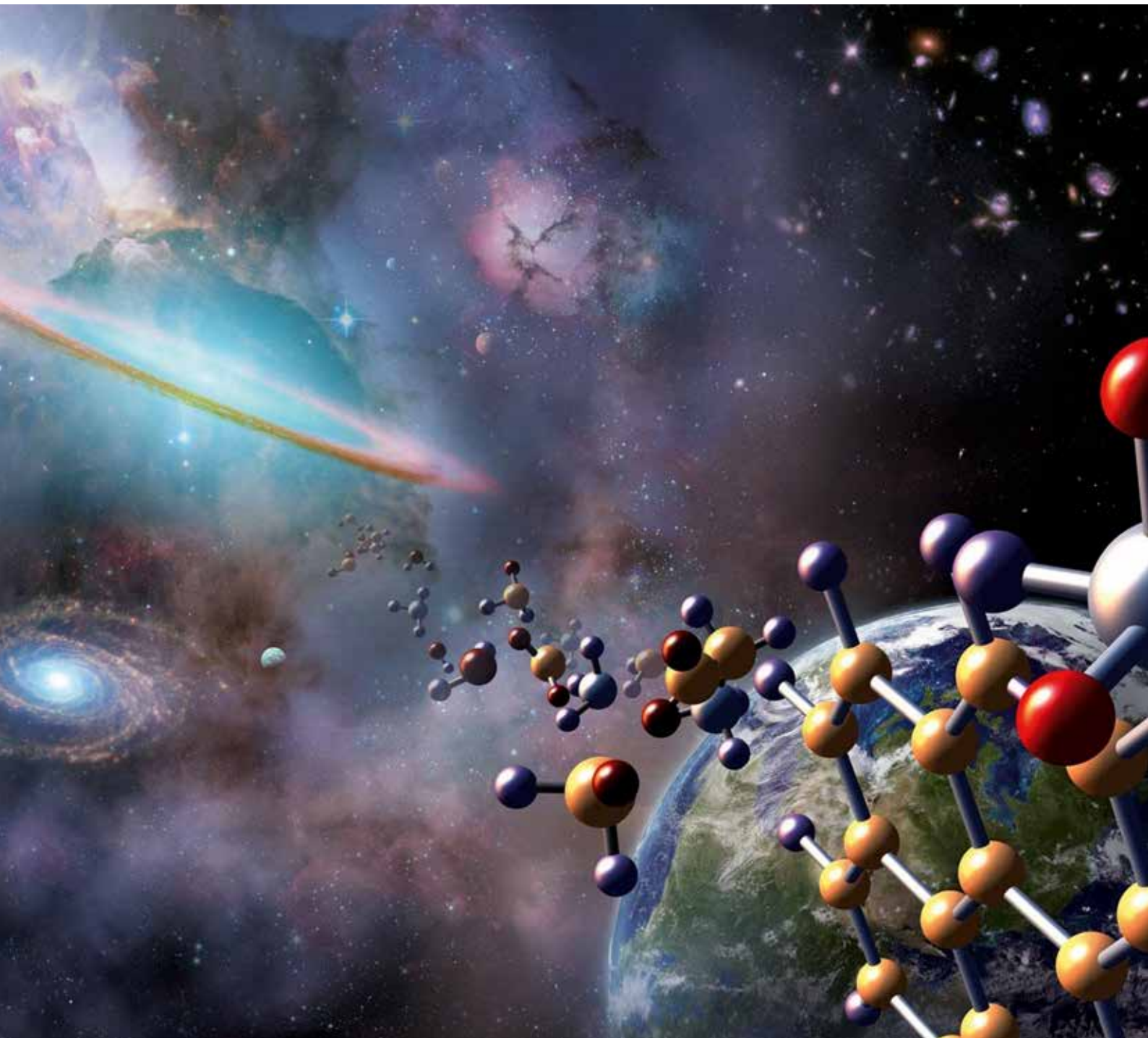


Foto: Astrid Eckert



PROF. DR. ANDREAS BURKERT

Foto: Andreas Heddergott



PROF. DR. STEPHAN PAUL

Koordinatoren des Exzellenzclusters Origins: „Vom Ursprung des Universums bis zu den ersten Bausteinen des Lebens“

Wie konnten aus den Anfangsbedingungen des Urknalls nicht nur die Strukturen des Universums entstehen, sondern auch das Leben auf der Erde? Viel Stoff für den neuen Forschungsverbund Origins in München und Garching.

Phosphor? Ja, Phosphor ist ein zentrales Element in RNA und DNA, den langen Molekülketten, aus denen das Erbmateriale gebaut ist. Phosphor ist ebenso unentbehrlich für die in allen biologischen Systemen gängige Energiewährung, das Molekül ATP. Jeder Organismus braucht Phosphor, um biologische Information und Energie zu speichern. Ein Leben ohne Phosphor also? Gibt es nicht. Für Lebenswissenschaftler eine klare Sache. Für den Astrophysiker Andreas Burkert ist das insofern ein Aha-Erlebnis, als es eine völlig neue Forschungsfrage aufwirft: Woher stammt das Element Phosphor, das auf der Erde das Leben und seine Entstehung so entscheidend mitgeprägt haben muss? „Wo Phosphor in den Sternen entsteht“, räumt er ein, „darüber haben wir uns in der Astrophysik noch nicht wirklich Gedanken gemacht.“

Jetzt aber haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler um Andreas Burkert das Thema mit dem Exzellenzcluster Origins auf die Agenda gesetzt. Origins ist ein

gemeinsames Projekt von Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) und Technischer Universität München (TUM). Beteiligt sind auch die Max-Planck-Institute für Plasmaphysik, Astrophysik, Extraterrestrische Physik, Physik und Biochemie, die Europäische Südsternwarte, das Leibniz-Rechenzentrum und das Deutsche Museum. Burkert, Inhaber des Lehrstuhls für Theoretical and Computational Astrophysics an der LMU, ist einer der beiden Koordinatoren von Origins. Der neue große Forschungsverbund baut auf den Arbeiten des erfolgreichen und durchaus strukturbildenden Clusters „Universe“ auf, der bereits in der ersten Runde der damaligen Exzellenzinitiative 2006 den Zuschlag bekam und seitdem über zwölf Jahre gefördert wurde.

„DRIVEN BY NATURE“ – DAS IST DAS MOTTO

Mit der Fortsetzung erweitern die Wissenschaftler die große Erzählung zur Entstehung des Weltalls noch um ein paar Kapitel. „Vom Ursprung des Universums

zu den ersten Bausteinen des Lebens“ heißt der neue Verbund im Untertitel. „Wir wollen zeigen, dass das Leben nicht irgendetwas Anderes ist, sondern ein ganz natürlicher Prozess, der zur Entwicklung des Universums gehört – und nach den Gesetzen von Physik und Chemie aus den Anfangsbedingungen des Urknalls heraus verständlich ist“, sagt Burkert. „Driven by nature“ – das ist das Motto für die Erzählung.

Und wenn man so will: Diese Erzählung ist allumfassend. Sie reicht vom Auftakt des Big Bang bis zum Universum, wie es heute in unzähligen Missionen und Surveys vermessen wird, rund 13,8 Milliarden Jahre später. Sie reicht von den kleinsten hypothetischen Partikeln bis zur größten Mega- und Metastruktur im All, dem Cosmic Web. Dazwischen liegen etwa 60 Größenordnungen – eine unvorstellbar große Spanne. Es geht um die Frage nach fundamentalen Teilchen und Kräften, um die Natur der Dunklen Materie, die die Strukturen im Universum zusammenhält, und das Wesen der Dunklen Ener-

gie, die mutmaßlich die beschleunigte Expansion des Universums vorantreibt. Es geht beispielsweise auch um die Bedeutung von Neutrinos, hochenergetische kosmische Strahlung und den Ursprung der Asymmetrie von Materie und Antimaterie. Es ist insgesamt ein dichtes Netz von komplexen Prozessen und Strukturen mit einer Unzahl möglicher Wechselwirkungen, die die Wissenschaftler von Origins erforschen wollen – immer in einer konsequenten Verzahnung von Theorie und Experiment. „Dafür ist das Forschungsumfeld hier in München einzigartig in Deutschland, womöglich sogar in Europa“, sagt Burkert. Der Cluster vereint Teilchenphysiker, Astrophysiker und nun auch Biophysiker, die nach dem Ursprung des Lebens suchen.

Doch was ist Leben überhaupt?

Die Origins-Wissenschaftler sind da erst einmal bescheiden. Sie wollen nicht die biologische Evolution nachzeichnen, die den Stammbaum von Tieren, Pflanzen und Mikroorganismen hat entstehen lassen. Sie denken eher an sehr rudimentäre Formen des Lebens: an die ersten Moleküle, die sich selbst vervielfältigen und dabei biologische Information weitergeben konnten. Solche Einheiten müssen in einer Evolution der Moleküle aus weitaus einfacheren Bausteinen entstanden sein.

DIE PROBE AUF S EXEMPEL

In welcher einer Umwelt aber konnten solche Prozesse ablaufen?

Wissenschaftler glauben, hydrothermale Felder am Meeresboden, wo aus Schloten heißes Gas austritt, oder vulkanisches Gestein, das von heißem Wasser umflossen ist, könnten das grundsätzliche Setting abgegeben haben: Es bietet kleinste wassergefüllte Gesteinsporen, in denen große Temperaturunterschiede herrschen. Dort

könnten sich in den kälteren Bereichen Moleküle in hoher Konzentration angehäuft und aggregiert haben – letzten Endes auch zu RNA-Polymeren. Welche Zutaten die „Ursuppe“ dazu brauchte, das untersuchen beispielsweise die Biophysiker bei Origins. Im Rahmen des Clusters wollen die Forscher auch ein Labor aufbauen, in dem sie tatsächlich die Probe auf Exempel machen: im Reagenzglas eine chemische Evolution in Gang setzen, aus der einfache informationstragende Moleküle hervorgehen und die diese Information an nächste Generationen weitergeben.

Doch dieses Szenario vorausgesetzt: Welche Bedingungen müssen dafür auf der noch jungen Erde geherrscht haben? Und wie muss sich das Universum entwickelt haben, damit ein solcher Planet entstehen konnte? So wollen sich die Wissenschaftler des Clusters zurücktasten bis zur Sekunde Null und die Frage nach den Grundbedingungen des Lebens in die Geschichte des Universums gleichsam als logische Entwicklung einpassen. „Früher haben wir

die Geschichte chronologisch erzählt; heute erzählen wir sie eher andersherum, in Rückgriffen sozusagen. Wir fragen dann jeweils nach den Voraussetzungen, die ein bestimmtes Phänomen möglich gemacht haben. Und danach, was wir an Erkenntnis und Informationen brauchen, um das herauszubekommen. Am Ende jedenfalls wollen wir ein konsistentes Bild zeichnen können“, sagt Stephan Paul, Inhaber des Lehrstuhls für Hadronenstruktur und Fundamentale Symmetrien an der TUM und neben Burkert Sprecher von Origins.

NEUE STERNENGGENERATIONEN

In der Chronologie beginnt alles mit dem Urknall, genau genommen nach dem Bruchteil eines Augenblicks, so skizziert Burkert die Storyline. Das gerade geborene Universum breitet sich schlagartig aus. Die Energie des heißen Urblitzes ist gleichmäßig über den Raum verteilt bis auf winzige Variationen, sogenannte Quantenfluktuationen. Diese wachsen



Foto: LMU / D. Braun

nun mit dem sich ausdehnenden Raum an und begründen letzten Endes die Massenverteilung und heute sichtbaren Strukturen im All – ein schon im Beginn angelegter Prozess. Es ist vor allem die unbekannte Dunkle Materie, die durch ihre Gravitationskraft die Struktur- bildung des Universum dominiert.

So bilden sich die Galaxien, die fundamentalen Welteninseln des Universums. Und in den Galaxien entstehen Sterne, leuchtende Gas- bälle, befeuert durch die Fusion der Urbausteine Wasserstoff und Helium. Als Abfallprodukt entsteht Sternenstaub: schwere Elemente, Kohlenstoff, Stickstoff und Sauer- stoff vor allem, aber auch Phos- phor – die späteren Bausteine des Lebens. Wenn der Brennstoff auf- gebraucht ist, fällt der Stern nicht vollständig in sich zusammen, son- dern er explodiert und schleudert den Großteil seiner Hüllen ins All hinaus. Dort mischt sich der Ster- nenstaub mit dem interstellaren Gas. Und dort, wo die Gravitati- onskraft dominiert, verdichtet sich die Mixtur zu gewaltigen Gaswol- ken, in denen eine neue Sternen- generation entstehen kann. Ein Bruchteil des Gases und des Staubs sammelt sich um die Ster- ne in sogenannten protoplaneta- ren Scheiben an. Im Laufe der Jahr- milliarden und nach vielen Gene- rationen von explodierenden Ster- nen ist die Staubkonzentration in diesen Scheiben so groß, dass sich durch Verdichtung Planeten bilden können. Und zumindest auf dem einen, dem blauen Planeten, konnte aus den Bausteinen Leben

entstehen. Burkerts Fazit: „Wir sind tatsächlich alle Sternenstaub.“

Unter welchen Bedingungen aber ist ein Planet habitabel, lebens- förderlich sozusagen? Auch das ist eine der Kernfragen, denen Wissenschaftler des Clusters im Detail nachgehen. Was braucht es mehr als Wasser, organische Mo- leküle und gemäßigte Temperatu- ren? Dahinter steht letzten Endes auch die Frage, wie hoch die Wahr- scheinlichkeit ist, dass es anders- wo im Universum ebenfalls Leben gibt, zumindest in seiner rudimen- tären Form. Und die Frage, wie vielfältig Erscheinungsformen au- ßerirdischen Lebens sein können.

„DAS GANZE UNIVERSUM ALS LABOR“

In einem Querschnittsprojekt wollen die Forscher ergründen, woher die chemischen Elemente kommen, die wir heute auf der Erde vorfinden. Wie sind sie ent- standen in den extremen Umwel- ten im Inneren von Sternen, bei stellaren Explosionen und der Kol- lision von Neutronensternen? Das Projekt, ein sogenannter Connec- tor, verknüpft die Expertise aus Teilchen- und Astrophysik sowie Biophysik und Chemie. Und viel- leicht kommen die Forscher da ja auch einer detaillierten Antwort auf die Phosphor-Frage näher. In ei- nem anderen dieser Teilprojekte wollen die Forscher herausbekom- men, was Turbulenz-Phänomene im Universum bewirken – bei der Evolution der Moleküle ebenso wie bei der Entstehung protoplaneta-

rer Scheiben. Eine weitere Frage ist der Ursprung und die Natur der Dunklen Materie.

Solche Querschnittsprojekte, so hoffen die Wissenschaftler, erhö- hen die Chancen deutlich, dass sie die Geschichte am Ende rund bekommen. Auch bauen die For- scher ein Data Science Lab auf, in dem sie vielseitig verwendbare Methoden entwickeln wollen, mit denen sich aus riesigen Datenmen- gen der größte Informationsgehalt und die signifikantesten Aussagen herausfiltern lassen. In einem Tech- nologiezentrum soll es nicht nur darum gehen, neue Sensoren und Messinstrumente zu designen, son- dern zusammen mit Ingenieuren der TUM Micro-Satelliten mit ent- sprechenden Experimenten zu be- stücken. All diese Forschungsstruk- turen des Origins-Clusters sollen dazu beitragen, Experten mit ganz unterschiedlichem Erfahrungshin- tergrund mit Gewinn zusammen- zubringen. Mit der engen Verzah- nung von Theorie und Experiment verspreche diese Kollaboration ei- nen regelrechten Erkenntnisschub, sagt Burkert. „Und – wo haben Sie das sonst schon: das ganze Univer- sum als Labor.“

Martin Thurnau/LMU

Der **Exzellenzcluster Origins** untersucht die Entstehung des Weltalls – „Vom Ursprung des Universums zu den ersten Bausteinen des Lebens“, wie der neue Verbund im Un- tertitel heißt. Die Wissenschaftler wollen zeigen, dass Leben ein natürlicher Prozess ist, der zur Entwicklung des Universums gehört – und nach den Gesetzen von Physik und Chemie aus den Anfangsbedingungen des Urknalls heraus verständlich ist.

Kontakt & Redaktion:

Exzellenzcluster Origins
Stefan Waldenmaier
Boltzmannstraße 2
D-85748 Garching
Tel.: + 49 89 35831 – 7100
www.origins-cluster.de

