

ASTRONAUT
ULRICH WALTER

SPIEGEL
Bestseller-
Autor

ORIGINS

DER URSPRUNG DES LEBENS

Mit den bahnbrechenden Aufnahmen
des James-Webb-Weltraumteleskops

GRÄFE
UND
UNZER

EDITION

Inhalt



07 Vorwort
08 Die Besatzung

01

10
**Die Entstehung unseres
Universums – der Beginn**

02

66
**Die Erforschung unseres
Universums – die Technologien**

03

126
**Die Entstehung des Lebens
auf der Erde**

04

196
**Außerirdisches Leben –
sind wir allein?**



Wo Sterne entstehen

Eine Region des Carinanebels im Sagittarius-Arm unserer Milchstraße. Ein riesiges Sternentstehungsgebiet in etwa 7500 Lichtjahren Entfernung. Die Aufnahme ist eine Kombination zweier Bilder des Wide Field Imager im chilenischen La-Silla-Observatorium der Europäischen Südsternwarte.

VORWORT

ORIGINS – die Suche nach dem Ursprung

Der Anfang der Welt und somit auch der Anfang unserer eigenen Lebensgeschichte liegt 13,8 Milliarden Jahre zurück: Der Urknall ist der Ursprung unseres Universums. Hier steht die Wiege der Menschheit. Und das begründet den tiefen Antrieb, wissen zu wollen, wie das Universum funktioniert, wie es aufgebaut ist und wie es sich entwickelt. Und vor allem: wie es überhaupt entstanden ist. Das Universum kann Leben hervorbringen, wir sind der Beweis dafür. Aber sind wir allein?

Was ist Leben? Und warum wimmelt es im Universum nicht nur so davon? Forscherinnen und Forscher suchen nach dem Bauplan des Ganzen. Und obwohl sie in immer kürzeren Abständen neue Erkenntnisse gewinnen, stehen sie erst am Anfang ihrer Reise zu den Grenzen des Wissens. Unser Bild vom Universum ist noch längst nicht komplett. Nur einen kleinen Bruchteil davon können wir tatsächlich sehen. Doch dank der bahnbrechenden Aufnahmen des James-Webb-Weltraumteleskops und seiner Vorgänger wird dieser kleine Teil größer und größer.

Woher kommen wir? Ob die Entstehung des Lebens in unserem Universum ein unglaublicher Zufall oder unvermeidlich ist, ist eine der grundlegendsten Fragen der Menschheit. Weltweit suchen Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen deshalb nach Antworten darauf. Im Forschungsverbund Exzellenzcluster ORIGINS verknüpfen Astrophysikerinnen, Biophysiker und Teilchenphysikerinnen ihre Fachrichtungen, um gemeinsam nach den großen und kleinen Zusammenhängen zwischen der Entstehung von Galaxien, Sternen, Planetensystemen und den ersten Bausteinen des Lebens zu suchen. Sie wollen herausfinden, wie sich unser Universum entwickelt hat und ob das Leben ein unabdingbarer Bestandteil dieser Entwicklung ist. Kann Leben überall dort entstehen, wo die Bedingungen dafür gegeben sind? Oder ist es etwas ganz anderes?

Bis heute kennen wir nur einen einzigen Himmelskörper, auf dem Leben existiert: unseren Planeten Erde. Aber die Bausteine des Lebens gibt es offenbar überall im Universum. Die Erforschung unseres Universums ist daher immer auch die Suche nach Leben – und eine Zeitreise zu unserem eigenen Ursprung. Begeben wir uns also gemeinsam auf die Reise!

Ulrich Walter, Daniel Bäuml, Odele Straub und Stefan Waldenmaier

Die Besatzung



Ulrich Walter ist promovierter Quantenphysiker. Er war Gastwissenschaftler am Forschungszentrum Jülich, am Hochflussreaktor des ILL Grenoble, an der Großforschungseinrichtung Argonne National Laboratory in Chicago sowie DFG-Stipendiat an der University of California, Berkeley. 1993 flog er als Wissenschaftsastronaut an Bord des Space Shuttle Columbia die D-2-Mission mit 89 Experimenten. Er leitet den Lehrstuhl für Raumfahrttechnik an der Technischen Universität München (TUM). Aus seinem Interesse an Astronomie entstanden die Vorlesungsreihe »Sterne und Kosmos« an der TUM, die auch auf Youtube zu sehen ist, populärwissenschaftliche Bücher wie »Zivilisationen im All« oder »Reiseziel Weltraum« sowie die Doku-Reihe »Spacetime« auf dem TV-Sender WELT. Er ist Mitglied des Exzellenzclusters ORIGINS in München.



Daniel Bäuml kam in Landshut zur Welt und studierte Architektur in Hamburg. Nach dem Diplom begann er seine journalistische Karriere bei SPIEGEL TV mit dem Fokus auf Historie. Bereits als Kind war der Sohn einer Buchhändlerin von Luft- und Weltraumfahrt fasziniert, und jegliche Raumfahrtliteratur fand den Weg aus dem mütterlichen Geschäft in sein Kinderzimmer. Bis heute zählen zu seinen Lieblingsbüchern Tom Wolfes Reportage über die Mercury-Astronauten der NASA »Die Helden der Nation« oder »Fiasko«, der Roman des Schriftstellers Stanislaw Lem, in dem sich die Menschheit zum ersten Mal aufmacht, um eine fremde Zivilisation zu erkunden. Er verantwortet als leitender Redakteur die Doku-Reihe »Spacetime« auf dem TV-Sender WELT.



Odele Straub ist promovierte Astrophysikerin. Geboren in Singapur, aufgewachsen und ausgebildet in Zürich, folgte sie ihrer Leidenschaft – den Schwarzen Löchern – nach Warschau und später nach Paris. Bei ihrem ersten Besuch am Very Large Telescope (VLT) in der chilenischen Atacama-Wüste durfte sie als Theoretikerin noch keine Knöpfe drücken. Aber als sie dort »live« ein Schwarzes Loch aufflackern sah, war sie so beeindruckt, dass sie sich zur Beobachterin ausbilden ließ. In den folgenden fünf Jahren reiste sie regelmäßig nach Chile ans VLT. Sie arbeitete am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik, wo sie den Tanz der Sterne um das Schwarze Loch im Milchstraßensystem berechnete und beobachtete. Sie ist am Exzellenzcluster ORIGINS für die Wissenschaftskommunikation verantwortlich.



Stefan Waldenmaier ist Physiker und Journalist. Er wollte schon in jungen Jahren wissen, was die Welt im Innersten zusammenhält. Inspiriert von den Physik-Nobelpreisträgern Heisenberg und Feynman studierte er Physik und engagierte sich in der Physikausbildung von Medizinstudierenden. Dabei entdeckte er seine Leidenschaft, komplexe Zusammenhänge einfach zu erklären. Nach dem Physikstudium studierte er Journalistik und arbeitete zunächst als Redakteur bei der Funkschau, später als Pressesprecher bei Giesecke & Devrient. Sein physikalisches Wissen und seine Medienenerfahrung führten ihn zum Exzellenzcluster Universe – heute Exzellenzcluster ORIGINS. Dort verantwortet er die Öffentlichkeitsarbeit und bringt Forschungsthemen vom Ursprung des Universums bis zu den ersten Bausteinen des Lebens einer breiten Öffentlichkeit näher.



01

Die Entstehung
unseres Universums –
der Beginn

A detailed astronomical image of the Orion Nebula, showing a vast field of stars and colorful nebulae in shades of blue, purple, and orange. The nebulae are wispy and ethereal, with bright stars scattered throughout. A text box is overlaid on the right side of the image.

Wiege von Sternen

Orion, der nächtliche Jäger am Winterhimmel, trägt an seinem Gürtel ein Schwert aus drei Sternen. Sein mittlerer »Stern« ist jedoch in Wahrheit ein diffuser, von Auge sichtbarer Nebel. Diese Aufnahme des Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte zeigt den Orionnebel als riesige Wolke aus Staub und Gas, in der eine große Zahl neuer Sterne entsteht.



Inspektion im Reinraum

Zwei Wissenschaftler begutachten eines der 18 Spiegelsegmente des James-Webb-Weltraumteleskops im Reinraum des Goddard Space Flight Center der NASA in Greenbelt, Maryland (USA).



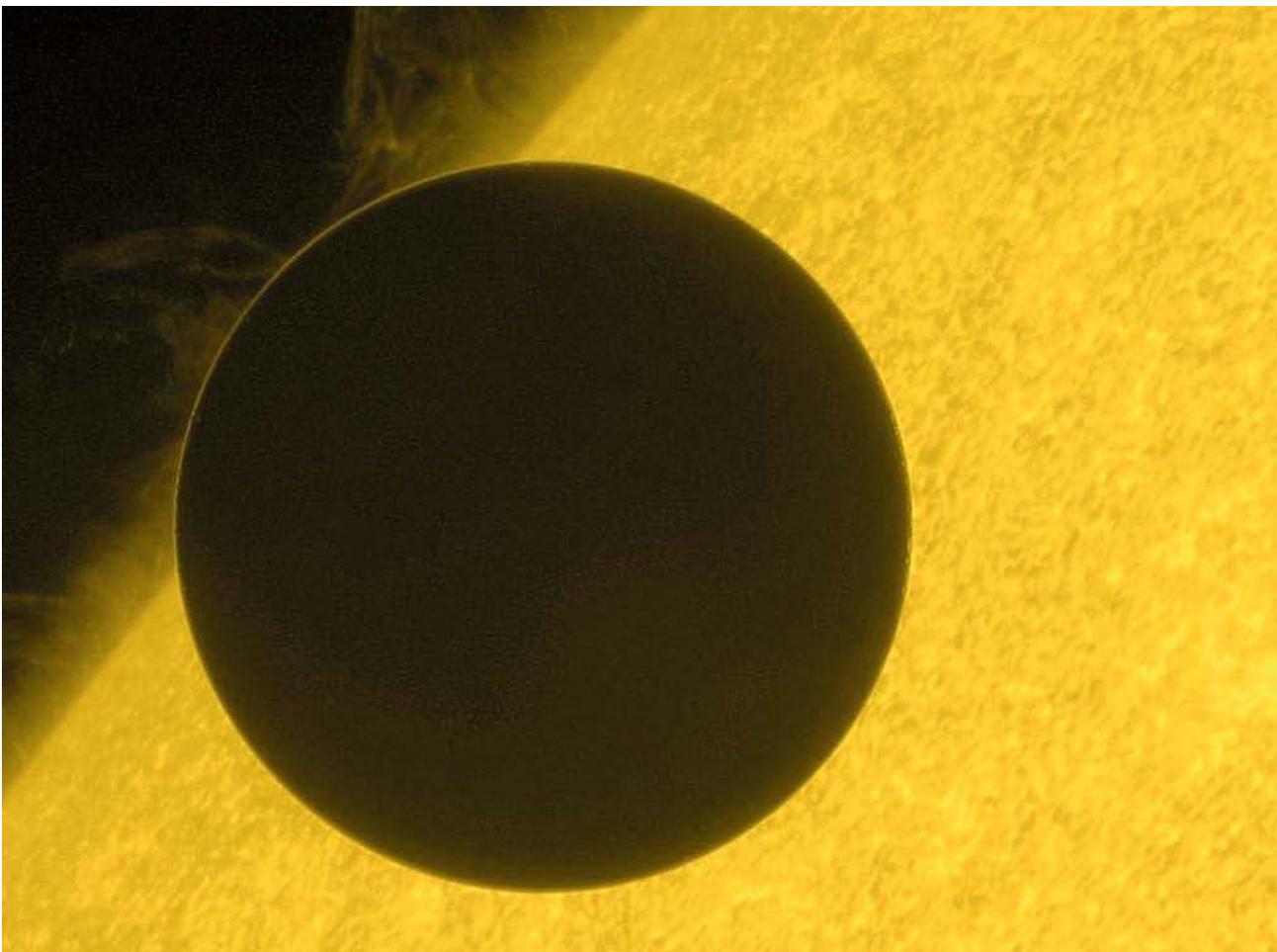
Wie findet man Exoplaneten?

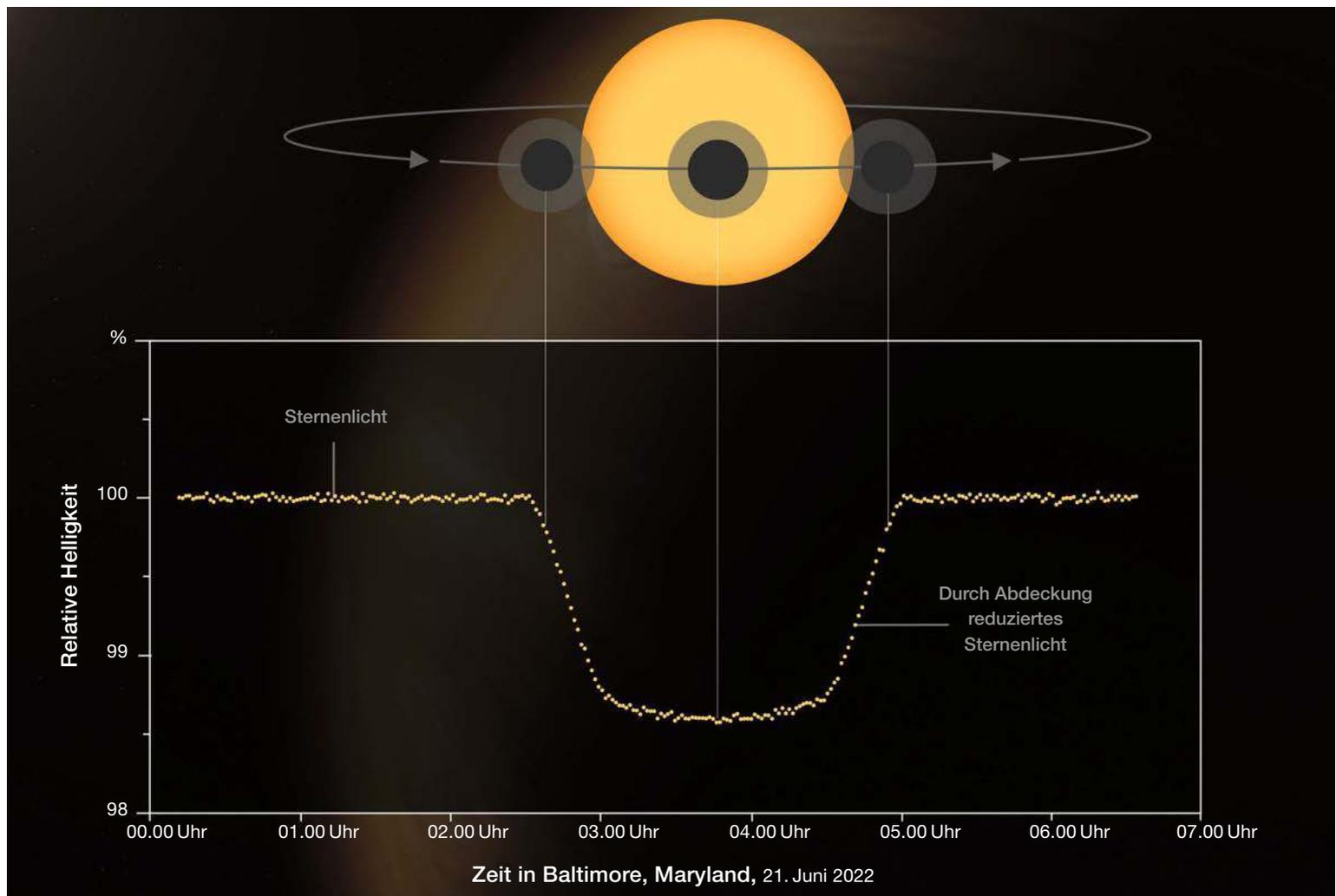
Das James-Webb-Weltraumteleskop hat seinen ersten Exoplaneten, ein Planet außerhalb unseres Sonnensystems, mit der sogenannten Transitmethode gefunden. Wenn ein Planet vor seinem Stern entlangläuft, deckt er diesen etwas ab. Anders als beim Vorbeiziehen der Venus vor der Sonne kann man dieses Ereignis bei einem Exoplaneten nicht direkt beobachten. Die Entfernungen sind einfach zu groß. Man beobachtet stattdessen die Lichtintensität eines Sterns. Sie

nimmt in dem Moment ab, in dem ein Planet vor diesem Stern vorbeiläuft. Diese Lichtkurve kann man messen. Das Problem dabei ist, dass ein Planet aus der Blickrichtung der Forscherinnen und Forscher direkt vor der Scheibe des Sterns vorbeilaufen muss. Und das ist eher ein Zufall.

Seltener Venustransit

Anfang Juni 2012 gelang einem japanischen Sonnenforschungssatelliten diese spektakuläre Nahaufnahme des Venustransits. Ein seltenes Schauspiel, das erst wieder im Jahr 2117 stattfindet. Das Ereignis wurde genutzt, um die durch die Sonne sichtbar werdende Atmosphäre der Venus näher zu untersuchen.





Abnehmendes Licht

Die Grafik zeigt, wie die Lichtintensität des sonnenähnlichen Sterns WASP-96 während des Vorbeizugs seines Planeten WASP-96 b absinkt. Das James-Webb-Weltraumteleskop ist so empfindlich, dass es zusätzlich eine Reihe von Molekülen in der Atmosphäre des Planeten problemlos erkennen kann. Für eine Analyse der Zusammensetzung der Atmosphäre reicht das aber noch nicht aus. Man konnte in seiner Atmosphäre lediglich Wolken und Dunst nachweisen.

Eine weitere Methode, Exoplaneten zu identifizieren, ist, nach »wackelnden« Sternen Ausschau zu halten. Umkreist ein Planet seinen Stern, so zieht dieser mit seiner hohen Masse nicht nur den Planeten an, sondern auch umgekehrt. Stern und Planet umkreisen also einen gemeinsamen Schwerpunkt. Durch die um ein Vielfaches geringere Masse des Planeten liegt dieser gemeinsame Schwerpunkt knapp neben dem Mittelpunkt des Sterns. Beobachtet man nun den Stern, kann man feststellen, dass dieser nicht stillsteht, sondern mit jedem Umlauf des Planeten leicht »wackelt«. Ein eindeutiger Hinweis auf die Anwesenheit eines Planeten.



Im Bauch der Tarantel

Das James-Webb-Weltraumteleskop enthüllt Details über die Struktur und Zusammensetzung des Tarantelnebels sowie Dutzender von Hintergrundgalaxien. Über der Spinne (am unteren Bildrand, rechts der Mitte) funkelt ein hellblauer Haufen junger, extrem heißer und massereicher Sterne. Ihre intensive Strahlung hat das Innere des Nebels leer gefegt. Der Tarantelnebel befindet sich in der Großen Magellanschen Wolke und ist die größte und hellste Sternentstehungsregion in der Nähe unserer Milchstraße.



Kollaps einer Materiewolke

Diese künstlerische Darstellung zeigt, wie eine Materiewolke, die um den im Zentrum entstehenden Protostern rotiert, in sich zusammenstürzt. Dabei flacht sie zu einer Scheibe ab, die zum Rand dicker und nach innen immer dünner wird. Im innersten Bereich wird ein Teil der einströmenden Materie als heiße Jets zurück ins All geschleudert.



Die Entstehung des Lebens auf der Erde

Ein Stern entsteht

Damit Leben, wie wir es kennen, im Universum entstehen kann, braucht es im Wesentlichen zwei Dinge: einen geeigneten Stern als Energiequelle und einen Planeten mit fester Oberfläche, einer Atmosphäre und reichlich flüssigem Wasser. Sterne mit solchen erdähnlichen Planeten – auch Gesteinsplaneten genannt – entstehen meist in der Phase der bisher dritten Sternengeneration, zu der auch unsere Sonne gehört.

Der Ablauf der Entstehung eines Sternsystems mit seinen Planeten ist immer gleich. Eine mehr oder weniger kugelförmige und nur schwach rotierende Wolke von etwa 100 Lichtjahren Durchmesser, die zu etwa 99 Prozent aus Wasserstoffmolekülen und zu 1 Prozent aus Sternenstaub mit einer Korngröße von etwa 1 bis 10 μm (1 Mikrometer = ein Tausendstel Millimeter) besteht, kollabiert unter der eigenen Schwerkraft durch die Stoßkompression einer benachbarten Supernova. Dabei rotiert die Materie immer schneller, ähnlich einem Eiskunstläufer, der die Arme einzieht.

Innerhalb weniger Millionen Jahre bildet sich eine sogenannte protoplanetare Akkretionsscheibe mit einem Durchmesser von etwa einem halben Lichtjahr, die außen relativ dick ist und nach innen immer dünner wird. Gleichzeitig strömt die in der Scheibe rotierende Materie in Richtung Zentrum, allerdings wegen der entgegenwirkenden Zentrifugalkraft nur sehr langsam. Weil die Materieteilchen zufällig zusammenstoßen und weil die Dichte von außen nach innen zunimmt, steigt auch die Temperatur der Wolke von außen nach innen an. Außen beträgt sie etwa $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ im innersten Teil zunächst etwa $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bei der weiteren Erwärmung des Kerns werden die Wasserstoffmoleküle zunehmend in einzelne Atome aufgespalten, was viel Energie verbraucht. Diese Energie fehlt, um die Bewegung der Gasteilchen – also die Gastemperatur – zu erhöhen und so einen zunehmenden Druck gegen die weiter einfallende Materie aufzubauen. Das lässt den Kern stark zusammenstürzen. Bei etwa $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist der Kernbereich fast vollständig atomisiert und der innere Kollaps vorerst beendet – ein sogenannter Protostern ist entstanden. Durch den Zusammenstoß mit der ständig von außen einfallenden Materie heizt er sich rasch auf $10\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf. Ab diesem Zeitpunkt ionisieren die Wasserstoffatome, das heißt, sie verlieren ihre Elektronen, und es entsteht ein Wasserstoffplasma.

Nach etwa 50 Millionen Jahren ist der Wolken- und Sternenkollaps beendet, und ein neuer Stern steht am Himmel.

Die Entstehung der Planeten

Während die Entwicklung eines sonnenähnlichen Sterns der zweiten und dritten Generation immer gleich verläuft, entwickeln sich Planetensysteme anfangs ähnlich, später aber recht unterschiedlich.

Nachdem sich die rotierende Scheibe aus Wasserstoffgas und 1 Prozent Staub gebildet hat, beginnen sich Staub und Gas langsam zu trennen. Denn da Gas einen Gasdruck besitzt, Staubteilchen aber nicht, rotieren diese um etwa 50 m/s schneller als das Gas und stoßen mit den Gasmolekülen zusammen. Diese bremsen die Staubteilchen ab, wodurch die Zentrifugalkraft abnimmt und sie mit etwa 100 km/h zum Zentrum driften. Im äußeren Bereich der Scheibe ist dieser Trennungsprozess wegen der geringeren Materiedichte wesentlich schwächer ausgeprägt. Die Staubteilchen stoßen zunehmend zusammen und bilden größere Staubkörner, die nach und nach bis zu einer Größe von etwa 1 Millimeter anwachsen. Nach nur 100 000 Jahren befindet sich der größte Teil des Staubs im Inneren der Scheibe. Durch weitere Zusammenstöße verdichten sich diese Körner und wachsen auf etwa 10 Zentimeter Durchmesser an. Ab jetzt führen weitere Zusammenstöße entweder zu noch größeren Brocken bis etwa 1 Meter Größe oder zur Zersplitterung. Zwischen 10 Zentimetern und 1 Meter Größe tritt also ein Stillstand des Größenwachstums ein – die sogenannte 1-Meter-Barriere.



Wer steckt dahinter?

Barbara Ecolano ist ORIGINS-Wissenschaftlerin und Professorin für Theoretische Astrophysik an der Universitätssternwarte der Ludwig-Maximilians-Universität München. Mit ihrer Gruppe erforscht sie insbesondere die Entstehung und Entwicklung von Sternen und Planeten sowie mögliche Zusammenhänge zwischen diesen beiden Prozessen. »How planets are born« – vor allem die Geburt und die Kinderstube der Planeten haben es Barbara Ecolano angetan. Dazu erweckt sie astrophysikalische Theorien mit leistungsfähigen Computersimulationen zum Leben und vergleicht sie mit astronomischen Beobachtungen.

Erst vor wenigen Jahren entdeckte man den Prozess, der die 1-Meter-Barriere überwindet: Strömungsinstabilitäten. Von außen betrachtet ähneln diese Brocken einer kreisenden Rauchwolke, die wie strömender Zigarettenrauch zufällig mal dichter und mal dünner wird. An den dichten Stellen treffen viele Brocken mit relativ geringer Geschwindigkeit aufeinander und überwinden die Barriere, indem sie etwa 1 Kilometer große Brocken bilden. Dieser Prozess ist sehr effizient und dauert nur 100 Jahre. Seit dem ersten Kollaps sind etwa 100 000 Jahre vergangen.

DIE ENTSTEHUNG DER PLANETEN

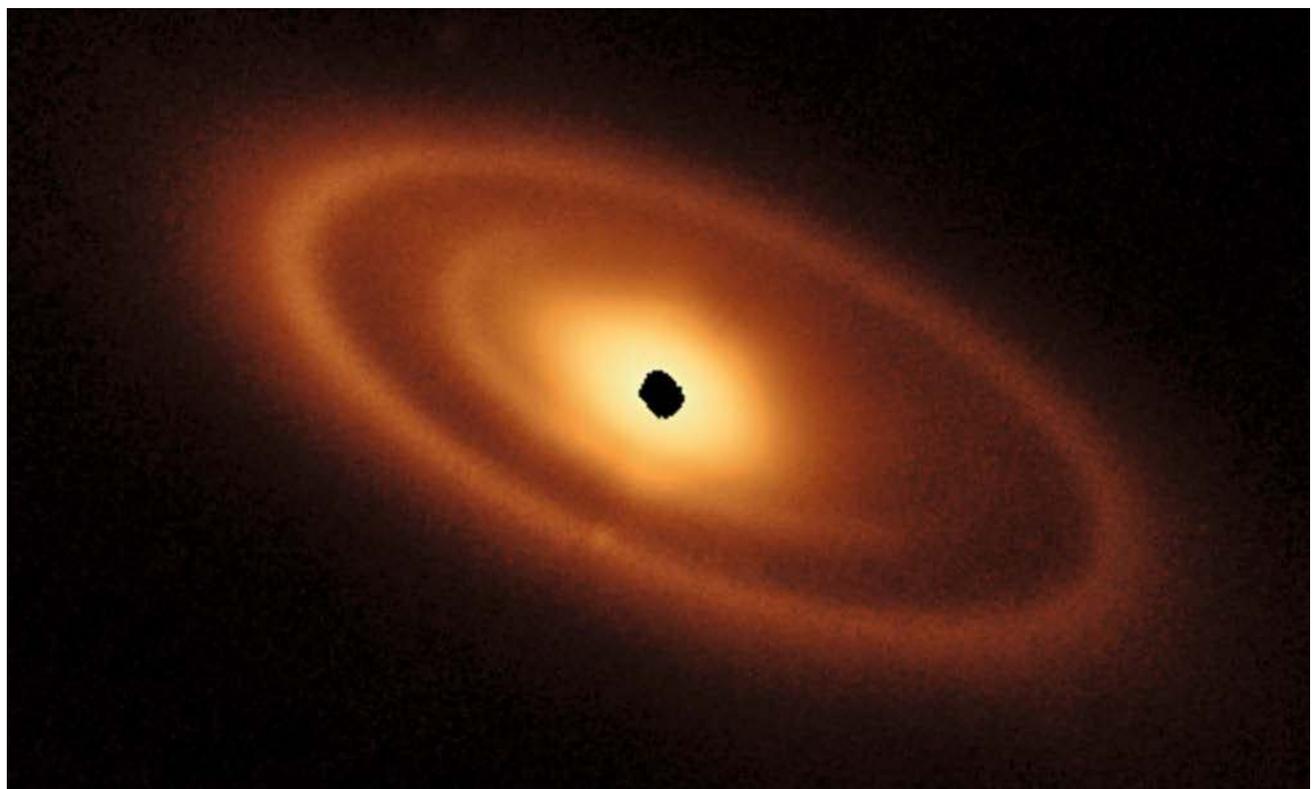
Entstehung des Lebens

Gesteinsbrocken ab 1 Kilometer Durchmesser nennt man Planetesimale – sie sind das Anfangsstadium eines Planeten. Sie üben bereits eine starke Anziehungskraft auf die kleineren Brocken unterhalb der 1-Meter-Barriere aus. Diese bleiben bei einem Zusammenstoß entweder direkt im Planetesimal stecken oder prallen von ihm ab, werden aber von seiner Anziehungskraft wieder eingefangen und bleiben bei einem zweiten Zusammenstoß stecken. Ab diesem Zeitpunkt nimmt das Wachstum der Planetesimale aufgrund ihrer zunehmenden Anziehungskraft selbstverstärkend zu.

Wenn sie nach etwa 500 000 Jahren eine Größe von wenigen Tausend Kilometern Durchmesser (etwa die Größe des Mondes) erreicht haben, kommt dieser Prozess jedoch zum Stillstand, da ihre Schwerkraft die benachbarten Brocken nur noch aufwirbelt. Man nennt sie nun Protoplaneten. Sie bilden eine Population von Planetenvorläufern mit gleicher Masse, die ab jetzt um die verbleibenden Planetesimale durch zufällige direkte Zusammenstöße mit ihnen über sehr lange Zeiten konkurrieren. Dadurch werden aus ihren meist leicht geneigten, elliptischen Bahnen langsam ebene, kreisförmige Bahnen, die sich nicht mehr kreuzen. Diese Fraßbänder um sie herum zeigen sich als dunkle, schmale Bänder, die sich deutlich von der kreisenden hellen Scheibe abheben.

Helle Gürtel

Mit James Webb gelingt ein erster Blick auf sternnahe Staubgürtel mit wahrscheinlich eingebetteten Asteroiden außerhalb unseres Sonnensystems. Der junge Stern Fomalhaut besitzt gleich mehrere solcher heller Staubgürtel. In den dunklen Ringen wurde der Staub vermutlich durch nicht sichtbare Planeten abgeräumt. Der helle Knoten im Außenring ist wahrscheinlich ein Protoplanet. Der schwarze Fleck in der Mitte stammt von einem Datenmangel.



A deep space photograph showing a dense field of stars of various colors (white, yellow, blue) against a dark background. A prominent reddish-orange nebula is visible in the lower right quadrant. The overall scene is a rich star field.

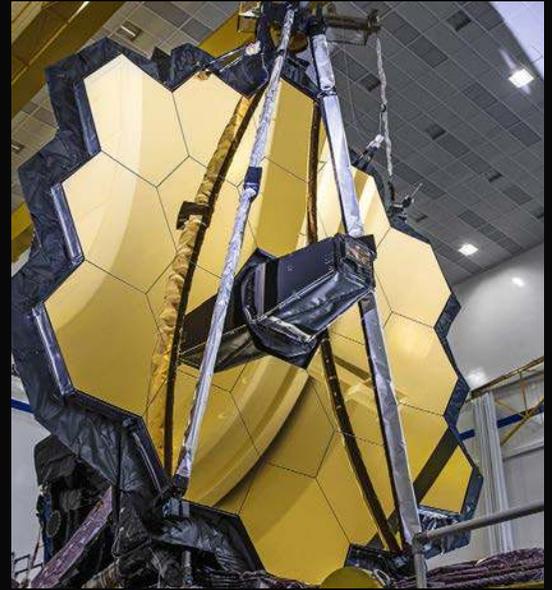
04

Außerirdisches
Leben –
sind wir allein?



Flügelschlag der Möwe

Die dünnen roten Wolken sind Teil der »Flügel« des sogenannten Möwennebels, einer Wolke aus Staub und leuchtendem Gas. In bemerkenswerter Detailschärfe enthüllt die Aufnahme des VLT Survey Telescope (VST) der Europäischen Südsternwarte die einzelnen astronomischen Objekte, aus denen der Himmelsvogel besteht.



FASZINATION WELTALL

Wie wurde unser Universum geboren? Warum ist ausgerechnet auf der Erde
Leben entstanden – und: Sind wir allein im All?

Dank der bahnbrechenden Technologien des James-Webb-Weltraumteleskops
scheinen die Antworten auf zentrale Fragen der Menschheit
greifbarer denn je. ORIGINS präsentiert die spektakulärsten Aufnahmen
des Wunder-Teleskops und vermittelt mit fundiertem Expertenwissen
und informativen Grafiken, welche revolutionären Erkenntnisse über unser
Universum sich hinter ihnen verbergen.

Von Ulrich Walter, SPIEGEL-Bestseller-Autor und Astronaut,
sowie den weltweit führenden Experten des ORIGINS-Netzwerks
und der Redaktion der Sendung SPACETIME



SPACE
TIME

WELT

»Dieser Bildband ist ein Blick in den kosmischen Spiegel – und jedem Menschen, der in den dunklen Sternenhimmel blickt, drängt sich die Frage nach dem Anfang auf. Wir kommen auf die Welt, und die Welt ist schon da, zwei große Rätsel mit einem Anfang für alles.«

Prof. Dr. Harald Lesch

