



# EXOPLANETEN

Fahndung nach extrasolaren Welten

## **TRAPPIST-1**

Lebensfreundlich  
oder unwirtlich?

## **Planetentstehung**

Bilder aus dem kosmischen  
Kreißaal

## **CHEOPS**

Vermessung  
ferner Welten



Andreas Müller, Chefredakteur von »Sterne und Weltraum«  
E-Mail: andreas.mueller@spektrum.de

## Liebe Leserin, lieber Leser,

vor rund 25 Jahren haben Astronomen die ersten Planeten außerhalb des Sonnensystems mit hochempfindlichen Methoden entdeckt. Seither hat sich die Erforschung der Exoplaneten rasant entwickelt. Zu Recht wurden im Jahr 2019 zwei Beobachtungspioniere – die Schweizer Michel Mayor und Didier Queloz – mit dem Physik-Nobelpreis gewürdigt. Mittlerweile vergeht kein Tag, an dem nicht eine neue Meldung zu Exoplaneten erscheint.

Grund genug also, in diesem Spektrum Kompakt ein paar Schlaglichter auf ganz besondere Schmankerl zu werfen: die Suchmethoden der Exoplanetenforscher, die bizarren Exowelten des Sterns Trappist-1, Satellitenmissionen wie TESS sowie PLATO und einiges mehr.

Viel Freude beim Lesen.

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 27.01.2020

Folgen Sie uns:



**CHEFREDAKTEUR:** Dr. Daniel Lingenhöhl (v.i.S.d.P.)

**REDAKTIONSLEITERIN:** Alina Schadwinkel

**ART DIRECTOR DIGITAL:** Marc Grove

**LAYOUT:** Oliver Gabriel, Marina Männle

**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.),

Sigrid Spies, Katharina Werle

**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe

**PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL:** Antje Findeklee,

Dr. Michaela Maya-Mrschik

**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH,

Tiergartenstr. 15–17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600,

Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114,

UStd-Id-Nr. DE229038528

**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle

**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.),

Michaela Knappe (Digital)

**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser,

Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer

**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen

interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an

service@spektrum.de.

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2020 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

**SEITE**  
**04**

PLANETENENTSTEHUNG  
Bilder aus dem  
kosmischen Kreißaal

LOOPS7 / GETTY IMAGES / ISTOCK

**SEITE**  
**16**

DIE EXOWELTEN VON TRAPPIST-1  
Lebensfreundlich, eiskalt oder  
höllisch heiß?

VADIMSADOVSKI / GETTY IMAGES / ISTOCK

JANEZ VOLMAJER / GETTY IMAGES / ISTOCK

DER NEXT-GENERATION TRANSIT SURVEY (NGTS)  
Auf der Jagd nach kleinen Exoplaneten

**SEITE**  
**49**

MANFRED KONRAD / GETTY IMAGES / ISTOCK

PLATO  
Die Rückkehr zu den hellsten Sternen

**SEITE**  
**66**

- 13 NOBELPREIS 2019  
Ein Planet wider besseres Wissen
- 27 NEUER SUCHALGORITHMUS  
18 neue erdgroße Exoplaneten  
in alten Kepler-Daten
- 32 TESS  
Spannende erste Funde
- 35 BETA-PICTORIS  
Kometen in legendärem Sternsystem
- 37 WASSER AUF EXOPLANETEN  
Warum der Hype um K2-18b  
nicht gerechtfertigt ist
- 40 HEISSE JUPITER  
Ein frühes Ende für Gasriesen
- 42 GLIESE 3470B  
Verdampfender Exoplanet könnte  
kosmisches Rätsel lösen
- 44 HUBBLE-WELTRAUMTELESKOP  
Ist der erste Mond außerhalb des  
Sonnensystems entdeckt?
- 61 CHEOPS  
Die Vermessung der Exoplaneten

PLANETENENTSTEHUNG

# BILDER AUS DEM KOSMISCHEN KREISSAAL

von Rebecca Boyle

Wie wird aus einer Wolke aus Gas und Staub ein Planetensystem? Erste Bilder von noch ganz jungen Sternen zeigen: An unseren bisherigen Theorien kann etwas nicht stimmen.

**V**or etwa 100000 Jahren, als noch die Neandertaler in den Höhlen Südeuropas lebten, wurde in der Taurus-Molekülwolke ein Stern geboren: Erst zog sich das Gas durch seine eigene Schwerkraft zusammen. Irgendwann war die Dichte dann so groß, dass Atomkerne miteinander verschmolzen – das Feuer der Kernfusion zündete. Materie, die bei der Entstehung des Sterns übrig geblieben war, kühlte ab und sammelte sich im Umfeld der jungen Sonne in einer Scheibe aus Staubkörnern und Gasschwaden.

Im September 2014 traf Strahlung aus dem jungen, 450 Lichtjahre entfernten Sternsystem die Erde. Astrophysiker fingen sie mit Hilfe von 66 Parabolantennen auf, dem Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA), das auf einer

Hochebene in der chilenischen Atacama-Wüste steht, der trockensten Region auf der Erde. Das Observatorium fängt dort, 5000 Meter über dem Meeresspiegel, sehr kurzwellige Radiostrahlung auf, so genannte Submillimeterwellen. Sie kann Wasserdampf in der Atmosphäre nur schlecht durchdringen – daher der Standort im chilenischen Hochgebirge.

ALMA eignet sich wie kein zweites Instrument auf der Erde dafür, junge Sterne und die sie umgebenden Scheiben zu beobachten; Letztere gaben Strahlung im Submillimeterbereich ab. Bei dem jungen Stern aus der Taurus-Molekülwolke, HL Tauri sein Name, erlebten Forscher dank ALMA eine Überraschung: Als sie die 66 Schüsseln auf die junge Sonne ausrichteten, rechneten sie damit, einen hellen, unstrukturierten Fleck zu sehen. Doch nachdem der Supercomputer der Teleskopanlage die gesammelten Radiowellen miteinander kombiniert hatte, zeigte sich eine Scheibe mit einer klar erkennbaren

AUF EINEN BLICK

## Die Vielfalt der Protoplaneten

**01** Mit einer neuen Generation von Teleskopen können Astrophysiker erstmals detailliert die Gas- und Staubscheiben beobachten, die junge Sterne umgeben.

**02** Wiederholt haben Forscher auf diesem Weg so genannte Protoplaneten aufgespürt, die auf den Aufnahmen gerade erst im Entstehen begriffen sind.

**03** Die Beobachtungen passen jedoch nicht zu bisherigen Modellen der Planetenentstehung. Offenbar sind die dahinterliegenden physikalischen Prozesse komplexer als bisher angenommen.

Ringstruktur. Darin waren Lücken zu erkennen, die auf kleine, neugeborene Planeten hindeuteten, die den Stern umkreisen – die Wissenschaftler blickten also in eine Art kosmischen Kreißsaal.

Seitdem haben Astronomen zahlreiche weitere »protoplanetare« Scheiben beobachtet. Ihr Studium ist mittlerweile ein eigenes Gebiet der Astrophysik, denn die Regionen, in denen Planeten entstehen, unterscheiden sich zum Teil stark. Einige sind ordentliche Ovale mit sauberen Bahnen wie auf einer Rennstrecke, andere ähneln eher Miniaturgalaxien mit spiralförmigen Armen. Auf manchen Bildern können die Forscher sogar erkennen, wie sich Planetenembryos bilden: Staub und Gas strömen hier auf rötlich glühende Knollen zu.

Doch je größer die Vielfalt, desto schwieriger wird es für die Astronomen, die Beobachtungen in Einklang mit den Theorien der Entstehung unseres Sonnensystems und anderer Planetensysteme zu bringen. Diese Modelle stehen schon länger auf wackeligen Füßen: Bereits die Entdeckung der ersten Planeten bei anderen Sternen in den 1990er Jahren, so genannter Exoplaneten, zeigte den Forschern,

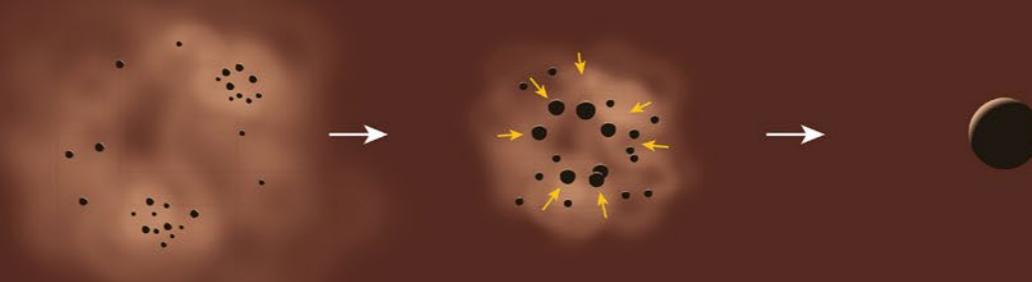
## Wie bildet sich ein Planet?

Es gibt zahlreiche unterschiedliche Theorien zur Entstehung von Planeten. Viele konzentrieren sich auf die Epoche unmittelbar nach der Geburt des Sterns, in der sich in der zunächst recht gleichförmigen Wolke aus Gas und Staub Planetenembryos bilden, so genannte Protoplaneten. Diese sind mehrere tausend Kilometer groß und können sich im Lauf der Zeit entweder zu Gesteinsplaneten oder zu Kernen großer Gasplaneten entwickeln.



### Kern-Akkretion

Dieser Theorie zufolge bilden sich Protoplaneten durch viele Zusammenstöße mit hoher Geschwindigkeit: Kleine Staubkörner formen sukzessive größere Objekte, die sich gegenseitig anziehen, kollidieren und häufig miteinander verschmelzen.



### Strömungsinstabilität

Nach diesem Modell kollabieren Dichteschwankungen in der Wolke wegen der Schwerkraft zu asteroidengroßen Körpern, den Planetesimalen, die dann durch andere Prozesse weiter zu Planeten anwachsen.

dass ihre Vorstellung von den Abläufen um junge Sonnen ausbaufähig sind.

### Kein kosmischer Kreißaal scheint dem anderen zu gleichen

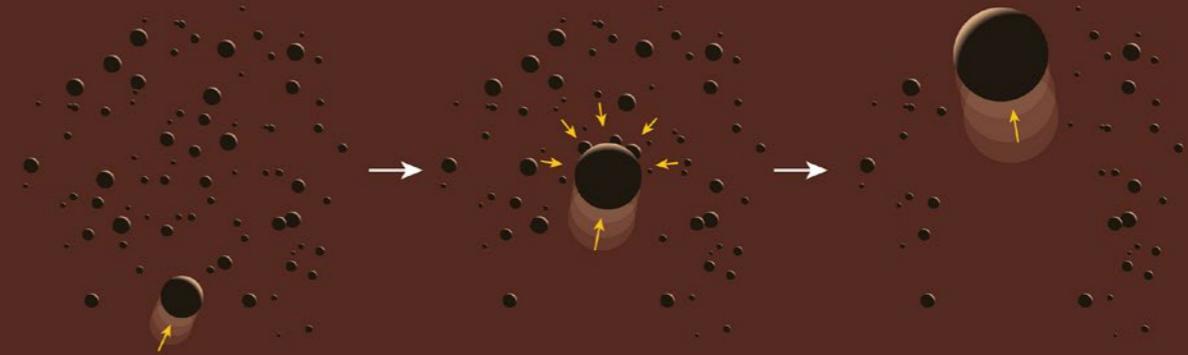
Inzwischen sind tausende Exoplaneten bekannt – und in den allermeisten Fällen sind sie anders angeordnet als in unserem Sonnensystem. Hier befinden sich die kleinen Gesteinsplaneten nahe an der Sonne, große Gasplaneten treiben weiter außen durchs All. Die Mehrheit der bisher entdeckten Exoplanetensysteme zeigt kein derart klares Muster. Seit Forscher damit angefangen haben, protoplanetare Scheiben direkt zu beobachten, ist die Sache noch komplizierter geworden. »Wir sehen dort alle möglichen Strukturen«, sagt die US-Astronomin Kate Follette vom Amherst College im US-Bundesstaat Massachusetts. Auch die zeitlichen Abläufe scheinen anders zu sein als lange vermutet: »Selbst in Scheiben, bei denen wir gedacht haben, sie wären zu jung für die Entstehung von Planeten, scheinen sie sich zu bilden.«

Die vorherrschende Theorie zur Geburt unseres Sonnensystems geht interessanterweise auf Immanuel Kant zu-

rück. 1755 malte sich der deutsche Philosoph aus, die Sonne und ihre Planeten könnten aus einem Nebel aus Gas und Staub entstanden sein. So ähnlich sehen es Forscher noch heute: Demnach entstand die Sonne aus dem kollabierenden Teil einer Molekülwolke, deren Material mehrere Sterne hervorbrachte. Die Sonne war dabei noch eine Zeit lang von ei-

nem Ring aus Gas und Staub umgeben, der langsam abkühlte und zu anwachsenden Körnchen kondensierte. Letztere bildeten dann immer größere Körper und schließlich Planetesimale genannte asteroidengroße Objekte, aus denen am Ende die Planeten entstanden.

Theoretiker haben die Einzelheiten des Prozesses seit den 1970er Jahren ste-



### Kieselstein-Akkretion

In diesem Szenario ziehen bereits vorhandene größere Körper bei ihrer Bewegung durch die Wolke kleinere Steine an. Mit der Zeit vereinen die Körper immer mehr Material auf sich und werden dadurch sehr groß – ähnlich wie ein rollender Schneeball.

tig verfeinert. Dabei haben sie die Anordnung der Planeten im Sonnensystem ebenso berücksichtigt wie die chemische Zusammensetzung von Meteoriten. Bei ihnen handelt es sich nach heutigem Verständnis um übrig gebliebene Bruchstücke aus der Frühzeit des Sonnensystems.

Allmählich etablierten sich zwei konkurrierende Theorien für die Entstehung von kleinen Gesteinsplaneten und großen Gasplaneten, die Anfang der 2000er Jahre gleichberechtigt nebeneinanderstanden. Laut der einen Theorie, der sogenannten Kern-Akkretion, stoßen immer wieder Körper aus Gestein mit großer Energie zusammen. Sie werden dadurch für kurze Zeit flüssig, verschmelzen miteinander und bilden so immer größere Objekte – bis hin zu mehrere tausend Kilometer großen Protoplaneten.

Diese können mit ihrer Schwerkraft große Mengen Gas aus der protoplanetaren Scheibe ansaugen. So könnten im Prinzip Riesenplaneten wie Jupiter entstanden sein, sagen Befürworter des Szenarios. Wenn das Wachstum der Protoplaneten hingegen früher stoppe, entstünden Gesteinsplaneten vom Format der Erde oder des Mars.

Im anderen Szenario, genannt Strömungsinstabilität, durchläuft das Sonnensystem keine solche Phase gewaltiger Kollisionen, sondern eher eine Art von Geringung. Gas und Staub in der Umgebung der Sonne kühlen in diesem Modell rasch ab, formen Wirbel und verdichten sich unter der eigenen Gravitation an vielen Stellen. Zentimetergroße Brocken aus Staub und Eis bilden immer größere Ansammlungen, mit einer Größe von einem bis 100 Kilometern. Letztlich bilden sich daraus dann Planetenembryos und schließlich Planeten. Doch weder das eine noch das andere Szenario kann erklären, was wir sehen. Da ist zum Beispiel der Jupiter. Er enthält den Großanteil jener Materie, die nach der Geburt der Sonne übrig geblieben ist. Aber um das mit den bestehenden Modellen zu erklären, müsste sich sein Kern im jungen Sonnensystem extrem schnell gebildet haben. Die Zusammenstöße zwischen Planetesimalen hätten viele Millionen Jahre dafür benötigt.

Theoretiker schätzen jedoch, dass die Scheibe aus Gas und Staub um die frisch geformte Sonne schon nach einer bis zehn Millionen Jahren verschwand. Schließlich müsste der Staub im Umfeld

des jungen Sterns von diesem rasch aufgesogen werden, während die freigesetzte Strahlung das Gas fortbläst.

### **Warum bewegen sich Gasplaneten in anderen Sternsystemen auf fremdartigen Bahnen?**

Jüngst zeigten Messungen der NASA-Sonde Juno zudem, dass Jupiters Kern größer ist als bislang angenommen. Der Entstehungsprozess müsste also noch schneller abgelaufen sein als bisher vermutet. Auch eine andere Eigenschaft des Gasriesen ist schwer zu erklären: seine Position im Sonnensystem. Seit den 1970er Jahren spekulieren Theoretiker daher, der Planet könnte im Verlauf seines Entstehungsprozesses nach außen gewandert sein.

Die Probleme der Theorien für Planetenentstehung wurden Mitte der 2000er Jahre noch größer. Astronomen spürten in dieser Zeit immer wieder Riesenplaneten auf, die ihren Mutterstern binnen weniger Tage umkreisen. Andere neu entdeckte Welten zogen ihre Bahnen dagegen in erstaunlich großer Entfernung vom Zentrum, viel größer als die des Jupiters im Sonnensystem.