Spektrum
der Wissenschaft
KOMPAKT

DAS SONNENSYSTEM

Unser Zuhause im Universum

Planetenentstehung
Wie unser Sonnensystem entstand

Beobachtende Astronomie
In flagranti im Sonnensystem

Himmelsbeobachtung
Das Mysterium »Supermond«

NASA/JPL

Uwe Reichert
Chefredakteur Sterne und Weltraum
E-Mail: reichert@spektrum.de
Twitter: @Sterne_Weltraum

Liebe Leserin, lieber Leser,

die Erde ist unser kosmisches Zuhause. Nur wenige Menschen haben bisher einen Schritt vor ihre Tür gesetzt, haben sie aus der Umlaufbahn gesehen oder die Oberfläche des Mondes betreten. Mit Teleskopen und mit Raumsonden ist die Menschheit erst seit wenigen Jahrzehnten dabei, unsere Nachbarschaft zu erkunden: die anderen Planeten in unserem Sonnensystem und die Sonne selbst, derem Licht und derer Wärme wir alle unsere Existenz verdanken. Gehen Sie mit uns auf eine kleine Reise: Wir haben für Sie das wichtigste Wissen über den Vorhof unserer kosmischen Heimat zusammengefasst.

Uwe Reichert

Folgen Sie uns:

Erscheinungsdatum: **12.09.2014**

Chefredakteure: Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.), Dr. Uwe Reichert
Redaktionsleiter: Christiane Gelitz, Dr. Hartwig Hanser, Dr. Daniel Lingenhöhl
Art Director Digital: Marc Grove
Layout: Oliver Gabriel
Schlussredaktion: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle
Bildredaktion: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
Produktmanagerin Digital: Antje Findeklee
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. DE147514638
Geschäftsleitung: Markus Bossle, Thomas Bleck
Marketing und Vertrieb: Annette Baumbusch (Ltg.)
Leser- und Bestellservice: Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ute Park, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: service@spektrum.de

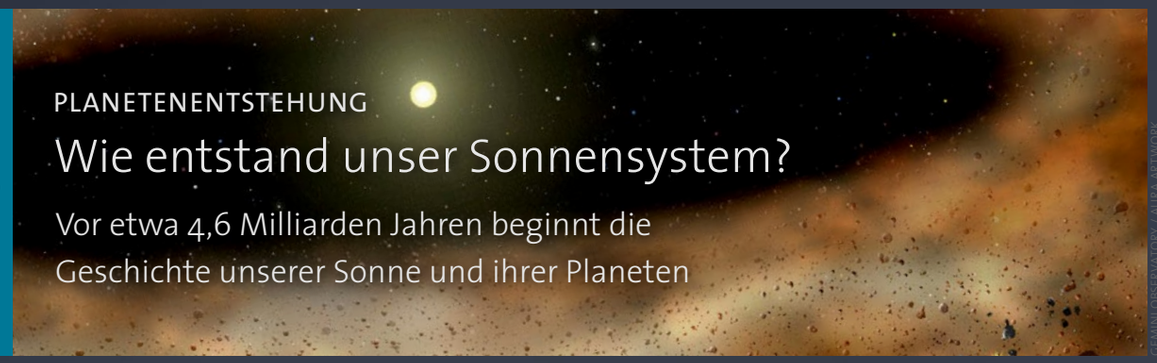
Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner der Nationales Institut für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik).

Bezugspreis: Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer
Anzeigen: Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an anzeigen@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: © 2017 (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. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

INHALT

04



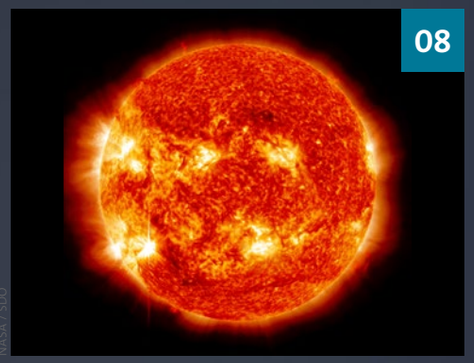
PLANETENENTSTEHUNG

Wie entstand unser Sonnensystem?

Vor etwa 4,6 Milliarden Jahren beginnt die Geschichte unserer Sonne und ihrer Planeten

GEMINI OBSERVATORY / AURA ARTWORK VON LYNETTE COOK

08



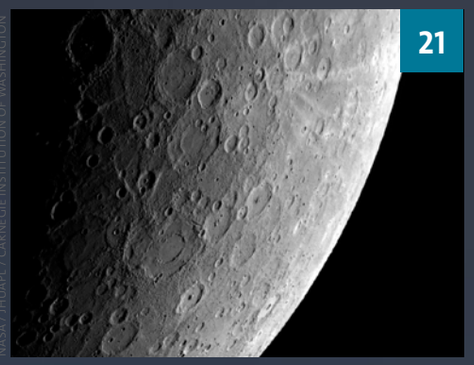
NASA / SDO

UNSER ZENTRALGESTIRN

Die Sonne

Keinen anderen Stern können wir so detailliert beobachten wie unsere Sonne

21



NASA / JHUAPL / CARNEGIE INSTITUTION OF WASHINGTON

LETZTER FELS VOR DER SONNE

Merkur

Der sonnennächste Planet ist eine extreme Welt

26

NASA

DIE HÖLLENWELT

Venus

Die Bedingungen auf unserem inneren Nachbarplaneten sind alles andere als verlockend

30

ISS EXPEDITION 7 CREW / EOL / NASA

DER BLAUE PLANET

Erde und Mond

Flüssiges Wasser und große Mengen an freiem Sauerstoff in der Atmosphäre zeichnen unseren Heimatplaneten aus

49

NASA / USGS

DER ROTE PLANET

Mars

Mars ist eine Welt der Überraschungen mit gigantischen Vulkanen, tiefen Tälern und Kratern

54

NASA

KÖNIG DER PLANETEN

Jupiter

Der innerste Gasplanet ist der größte und massereichste Planet im Gefolge der Sonne

59

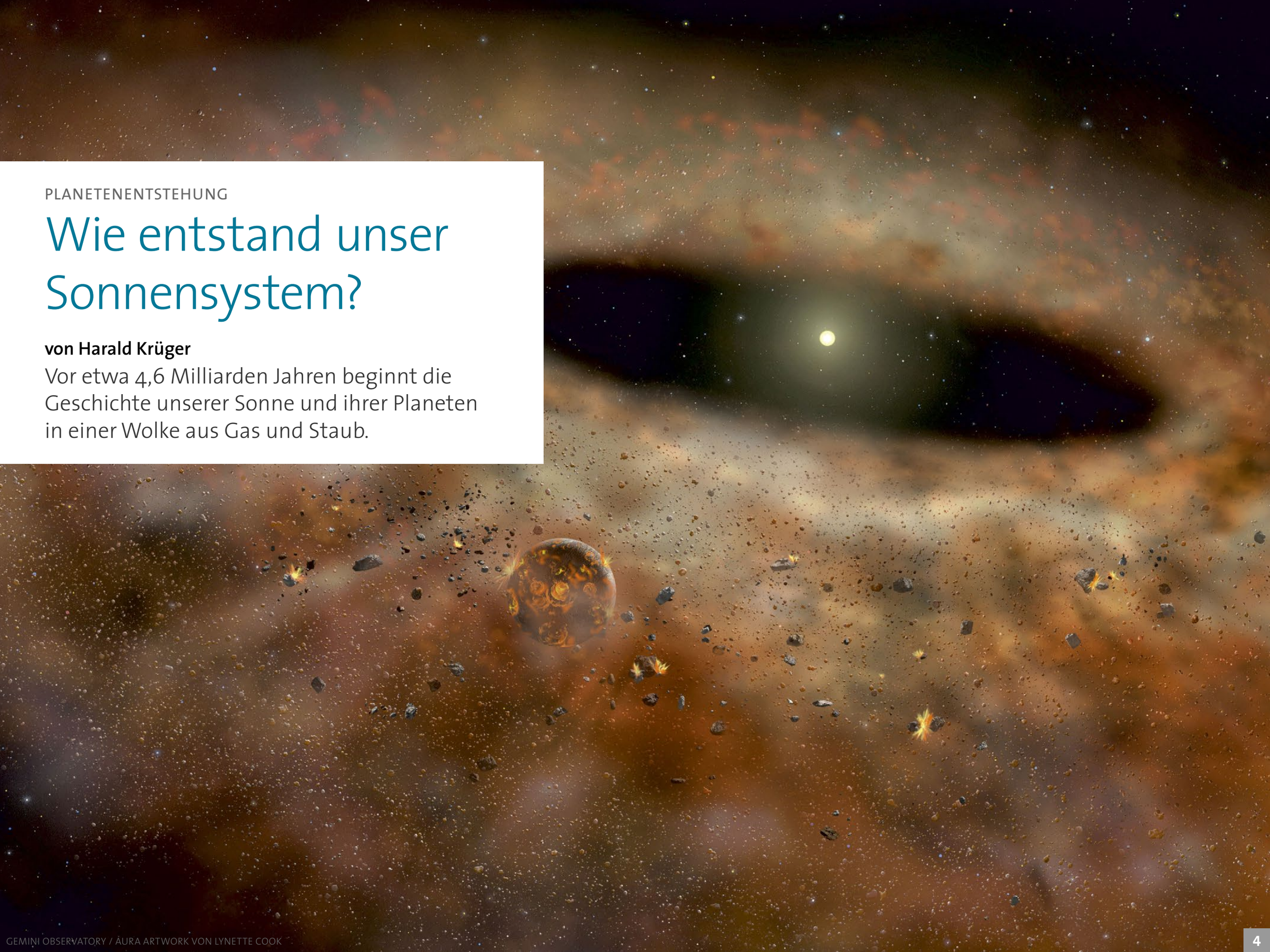
NASA

PLANET DER RINGE

Saturn

Saturn, der Planet der Ringe, bietet eine Vielzahl an faszinierenden Besonderheiten

02 EDITORIAL / IMPRESSUM
44 AUS KOLLISION GEBOREN
35 EIN OZEAN IM VERBORGENEN
45 DAS MYSTERIUM »SUPERMOND«
53 JUNG UND ALT
63 DIE ROSE DES SATURNS
65 URANUS
69 SPEKTAKULÄRES LEUCHTEN
71 NEPTUN
75 KLEINPLANET SEDNA IST NICHT ALLEIN
79 IN FLAGRANTI IM SONNENSYSTEM



PLANETENENTSTEHUNG

Wie entstand unser Sonnensystem?

von Harald Krüger

Vor etwa 4,6 Milliarden Jahren beginnt die Geschichte unserer Sonne und ihrer Planeten in einer Wolke aus Gas und Staub.

GEMINI OBSERVATORY / AURA ARTWORK VON LYNETTE COOK

Die Untersuchung von Meteoriten liefert gemeinsam mit anderen Daten wesentliche Erkenntnisse über die Entstehung und frühe Entwicklung unseres Sonnensystems. Vor 4,567 Milliarden Jahren kollabierte ein kleiner Teil einer riesigen interstellaren Atom- und Molekülwolke durch seine eigene Schwerkraft; dieses Alter wurde durch Isotopenmessungen an Meteoriten ermittelt. Der Löwenanteil der kollabierenden Masse sammelte sich im Zentrum dieser Wolke und bildete die Sonne.

Wegen des Drehimpluserhaltungsgesetzes bildete der übrige Teil der Wolke eine rotierende Scheibe aus Gas und Staub. In dieser protoplanetaren Scheibe entstanden innerhalb einiger Millionen Jahre die Planeten, ihre Monde und die anderen Kleinkörper des Planetensystems.

Die kollabierende Wolke hatte nahezu die gleiche Zusammensetzung wie unsere heutige Sonne, sie bestand zu 98 Prozent aus Wasserstoff und Helium mit einer geringen Beimengung von Lithium aus dem Urknall. Die restlichen zwei Prozent waren Atome schwererer chemischer Elemente, die durch Kernfusion in früheren Sterngenerationen gebildet worden waren. Besonders in den Spätphasen ihrer Entwicklung geben massereiche Sterne Materie auch mit hohen Atomgewichten durch heftige Sternwinde oder Supernova-Explosionen an ihre Umgebung ab. Sie reichern so das interstellare Medium und damit auch den solaren Urnebel mit schweren Elementen an.

Die Bildung der Planeten erfolgte aus dem Gas und Staub der protoplanetaren Scheibe. Winzige, nur wenige Mikrometer große Staubkörnchen liefen zunächst in der Scheibe um die noch junge Sonne. Dabei kam es unweigerlich zu Zusammenstößen zwischen den Körnchen. Mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit konnten die Körnchen infolge der Schwerkraft aneinanderhaften und zu größeren Klumpen wachsen. Dadurch entstanden die so genannten Planetesimale, planetenähnliche Objekte mit einer Größe bis zu einigen Kilometern. Durch Kollisionen miteinander wuchsen diese schließlich innerhalb weniger Millionen Jahre zu planetengroßen Himmelskörpern an, indem sie kleinere Objekte durch ihre Schwerkraft aufsammelten. Die Temperaturen waren im inneren Bereich der Scheibe so hoch, dass die sich dort bildenden Planetesimale hauptsächlich aus Verbindungen mit hohem Schmelzpunkt wie Metallen oder gesteinsbildenden Silikaten bestanden. Wasser, Methan und andere leicht flüchtige Substanzen konnten dort nicht kondensieren. Aus solchen Planetesimalen bildeten sich die erdähnlichen Planeten Merkur, Venus, Erde/Mond und Mars.

Nach einer weit gehend anerkannten Theorie entstand bei den Gasplaneten Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun bei wesentlich niedrigeren Temperaturen zunächst ein Kern aus Gesteins- und Eismaterial von – je nach Planet – rund fünf bis zehn Erdmassen, analog dem Prozess bei den erdähnlichen Planeten. Diese Kerne hatten dann genug Masse, um durch ihre Schwerkraft Gase, im Wesentlichen Wasserstoff und Helium, aus der sie umgebenden Scheibe aufzusammeln. Auf diese Weise wuchsen sie rasch auf ihre heutige Größe weiter.

Die Gasplaneten entstanden außerhalb der so genannten Frostlinie. Sie verläuft zwischen den Umlaufbahnen von Mars und Jupiter und bezeichnet die Grenze im Sonnensystem, jenseits derer die Temperaturen tief genug sind, dass dort leicht flüchtige Verbindungen wie Wasser kondensie-

ren und Eis bilden können. Im Bereich des Asteroidengürtels zwischen Mars und Jupiter verhinderte die enorme Schwerkraft des Jupiter die Bildung eines weiteren großen Planeten, somit finden wir dort heute Überreste aus der Frühphase des Planetensystems vor. Allerdings wurden diese Himmelskörper seit ihrer Entstehung verändert, da Kollisionen wegen der hohen Populationsdichte häufig waren und zur Zerkleinerung größerer Objekte führten. Deren Überreste finden wir zum Teil als Meteoriten auf der Erde. Mittlerweile gibt es auch Hinweise darauf, dass zwar die meisten, aber nicht alle Asteroiden im Bereich des Hauptgürtels entstanden.

Außerhalb der Umlaufbahnen von Uranus und Neptun konnte sich kein großer Himmelskörper mehr bilden, weil dort die Dichte der Planetesimale zu gering war. Hier blieb ein Gürtel aus eisreichen Planetesimalen übrig, der Edgeworth-Kuiper-Gürtel. Flüchtige Verbindungen wie zum

NASA, ESA, STSCI / ARIZONA STATE UNIVERSITY, JEFF HESTER UND PAUL SCOWEN

Stellare Kinderstube

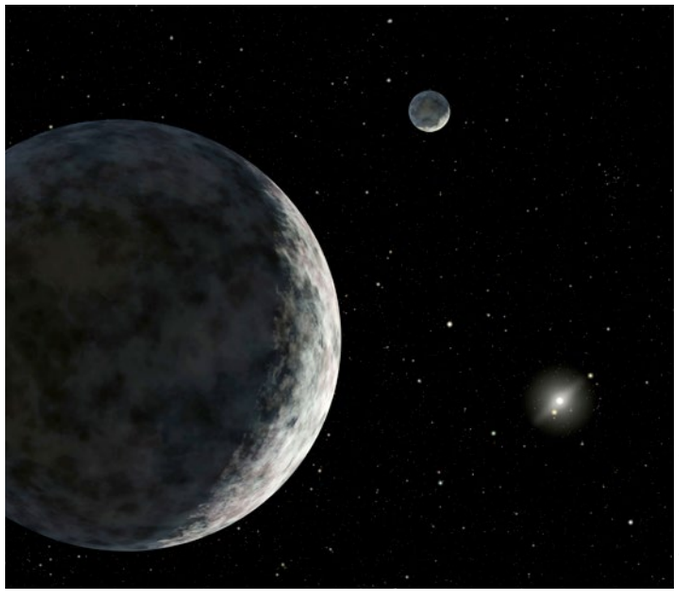
In den Wolken aus interstellarem Gas und Staub des Adlernebels Messier 16 entstehen Sterne und Planeten.

Beispiel Wasser konnten dort kondensieren und dominieren die Zusammensetzung der Himmelskörper. Aus diesem Gürtel stammen zum überwiegenden Teil die kurzperiodischen Kometen, die Umlaufzeiten um die Sonne von weniger als 200 Jahren haben.

Möglicherweise sind die Planeten nicht in den Abständen zur Sonne entstanden, wo wir sie heute vorfinden. Nach einem vor einigen Jahren am Observatorium von Nizza entwickelten Modell wurden rund 800 Millionen Jahre nach der Entstehung des Sonnensystems insbesondere die Bahnen der Gasplaneten verändert. Uranus und Neptun tauschten ihre Umlaufbahnen um die Sonne, wanderten weiter nach außen, und ihre Bahnen waren zeitweise stark elliptisch. Der Vorläufer des Edgeworth-Kuiper-Gürtels, der wesentlich mehr Planetesimale als der heutige Gürtel enthielt, wanderte dadurch ebenfalls weiter nach außen. Viele der dort ursprünglich vorhandenen Planetesimale wurden ins innere Sonnensystem oder aus dem Sonnensystem heraus geschleudert.

Ein Teil dieser Kleinkörper bildet heute die Oortsche Wolke in einem Abstand von rund 50 000 bis 100 000 Astronomischen Einheiten von der Sonne. Aus ihr stammen die langperiodischen Kometen, die stark elliptische Umlaufbahnen um die Sonne und Umlaufzeiten von mehr als 200 Jahren aufweisen. Das Nizza-Modell erklärt unter anderem eine aus Untersuchungen der Mondkrater abgeleitete Beobachtung, dass es rund 800 Millionen Jahre nach der Entstehung des Mondes zu einer starken Häufung von Meteoriten- und Asteroideneinschlägen auf dem Mond und den anderen Planeten gekommen sein muss. <

Spektrum.de – Themenseite



NASA / CALTECH

Zwergplaneten

Kleine Welten

Der ganze Kosmos:
Auf Ihrem Bildschirm.

DAS STERNE
UND WELTRAUM
DIGITALABO

Erfahren Sie alles über Astronomie und Raumfahrt – direkt aus den Forschungslaboren der Welt.
Jahrespreis (12 × im Jahr) € 60,–;
ermäßigt (auf Nachweis) € 48,–

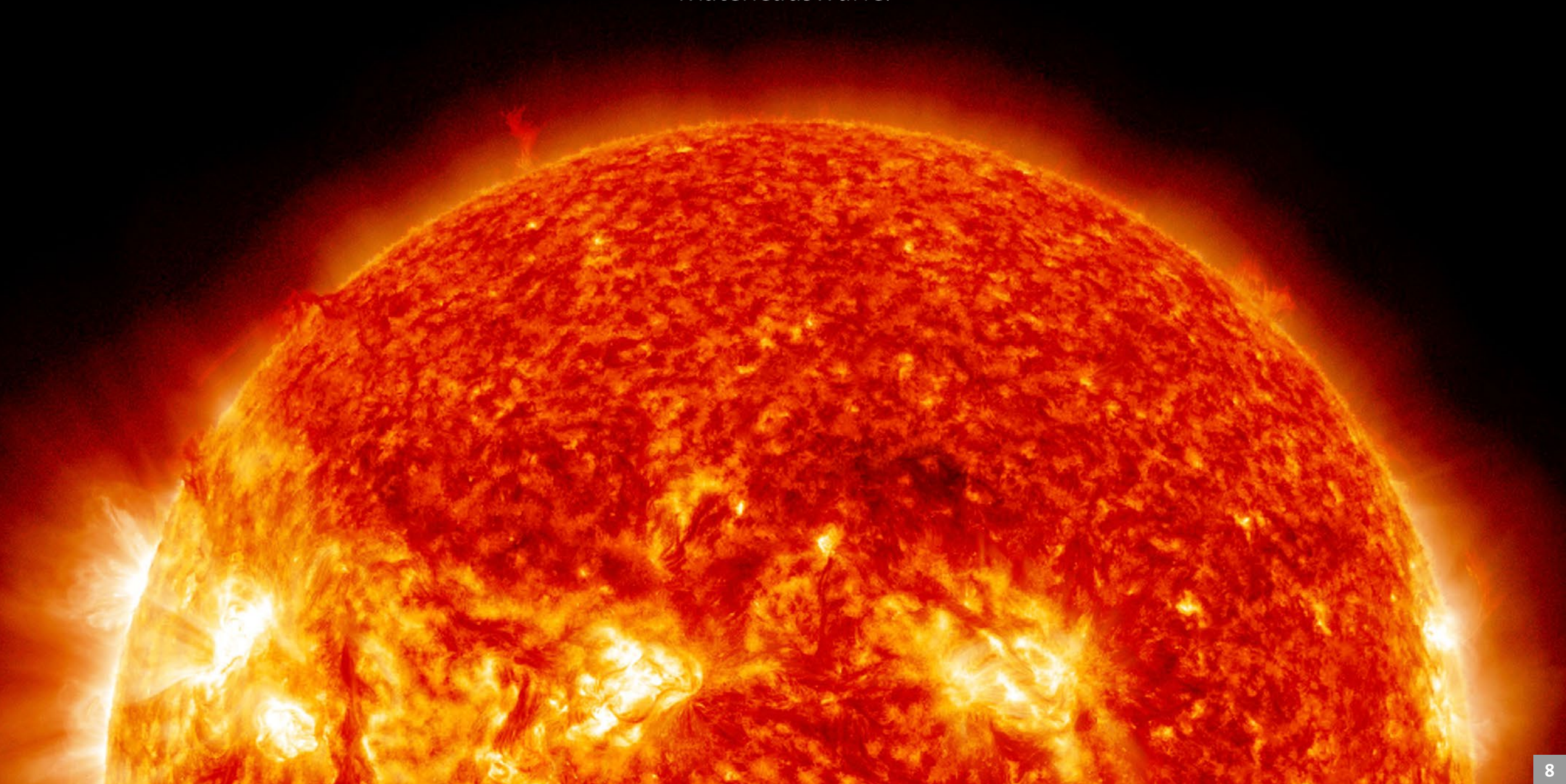
HIER ABONNIEREN

UNSER ZENTRALGESTIRN

Die Sonne

von Uwe Reichert

Die Sonne ist das Zentrum unseres Sonnensystems, und sie ermöglicht das Leben auf der Erde. Ihre Aktivität erzeugt vielfältige Phänomene wie Sonnenflecken und Materieauswürfe.



NASA / SDO

Astronomisch gesehen ist die Sonne ein recht durchschnittlicher Stern, für das Leben auf der Erde ist sie hingegegen von überragender Bedeutung. Seit Jahrmilliarden liefert sie unserem Heimatplaneten Licht und Wärme. Aber trotz dieser scheinbaren Beständigkeit spielen sich in ihrem Inneren und auf ihrer Oberfläche Vorgänge von erstaunlicher Dynamik ab.

Unser Tagesgestirn

Die gesamte Energie, die der Erde von außen zugeführt wird, kommt von unserer Sonne. Obwohl die Entfernung zwischen beiden Himmelskörpern rund 150 Millionen Kilometer beträgt, empfängt die Erde pro Quadratmeter eine mittlere Strahlungsleistung von 1360 Watt – das ist, als würde auf jedem Quadratmeter Erdoberfläche ein handelsüblicher Heizstrahler stehen. Mit dieser Energiezufuhr bestimmt unser Tagesgestirn das Klima auf unserem Planeten.

Alles Licht, das die Erde von der Sonne empfängt, stammt aus einer nur wenige hundert Kilometer dicken äußeren Schicht der Sonne, der Photosphäre. Verglichen

DIE SONNE – UNSER ZENTRALSTERN

Mittlerer Abstand zur Erde:	150 Millionen Kilometer = 1 Astronomische Einheit = 500 Lichtsekunden
Durchmesser:	1,4 Millionen Kilometer = 109-facher Erddurchmesser
Rotationsperiode am Äquator:	25 Tage
Rotationsperiode in Polnähe:	33 Tage
Masse:	2×10^{30} Kilogramm = 333 000-fache Erdmasse = 99,9 % der Gesamtmasse des Sonnensystems
Effektive Oberflächentemperatur:	5770 Kelvin = 5500 Grad Celsius
Temperatur im Zentrum:	15 Millionen Kelvin
Leuchtkraft:	4×10^{26} Watt
Scheinbare Helligkeit:	–26,8 mag = 15 Milliarden Mal heller als der zweithellste Stern am Himmel
Spektralklasse:	G2V
Alter:	4,6 Milliarden Jahre

NASA