



ESO/VPHAS+ team/N. J. Wright (Keble University) (https://www.eso.org/public/germany/images/eso1913a/) / CC BY 4.0 (creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode)



Mit dem VLT Survey Telescope der ESO in Chile entstand diese Aufnahme der Sternbildungsregion Sharpless 2-296 im sichtbaren Licht. Es zeigen sich zahlreiche Emissionsnebel, Reflexionsnebel und dunkle Staubansammlungen.

Die Region des Möwennebels erstreckt sich über rund 100 Lichtjahre, und es finden sich in ihr zahlreiche dunkle Flecken, bei denen es sich um relativ dichte Ansammlungen von Staub handelt. In diesen Regionen bilden sich bevorzugt neue Sterne. Sobald diese gezündet haben, beginnen sie mit ihrer Strahlung und ihren Sternwinden, den sie umgebenden Kokon aus Staub zu zerstören und gestalten dabei das Erscheinungsbild ihrer Geburtsstätte ständig um.

Eine solche Sternentstehungsregion wie der Möwennebel enthält einige Hundert Atome pro Kubikzentimeter und ist damit sehr viel dichter als das gewöhnliche interstellare Medium. In ihm befinden sich nur rund ein bis zwei Atome pro Kubikzentimeter.

ESO, 7. August 2019

## Sternentstehung im Einhorn – der Möwennebel

An der Grenze vom Sternbild Großer Hund und dem Einhorn liegt in rund 3700 Lichtjahren Entfernung die Sternentstehungsregion Sharpless 2-296 oder kurz Sh2-296. Sie wird wegen ihrer Form auch als Möwennebel bezeichnet und wurde hier im sichtbaren Licht mit dem VLT Survey Telescope der

Europäischen Südsternwarte ESO in Chile aufgenommen. Das Bild lässt viele Details erkennen und wird dominiert vom rötlichen Leuchten der HII-Regionen. In ihnen wird Wasserstoffgas durch die energiereiche Ultraviolettstrahlung massereicher Sterne zum Leuchten im sichtbaren Licht im Be-

reich der H-Alpha-Linie des Wasserstoffs angeregt. Eine solche Region wird als Emissionsnebel bezeichnet. Andere Partien des Nebels reflektieren und streuen das Licht von in ihrem Inneren oder außerhalb befindlichen Sternen und sind somit Reflexionsnebel. Sie leuchten hier beispielsweise bläulich.

## Ein zweiter Planet bei Proxima Centauri?

Kein anderer Stern ist dem Sonnensystem so nahe wie der massearme Begleiter des Doppelsterns Alpha Centauri. Doch um den lichtschwachen Roten Zwerg wurde bereits 2016 ein annähernd erdgroßer Exoplanet entdeckt, Proxima Centauri b – und dieser könnte nicht der einzige Begleiter des Zwergsterns sein.

Ricardo Ramirez und James Jenkins vom Department of Astronomy, Uni-

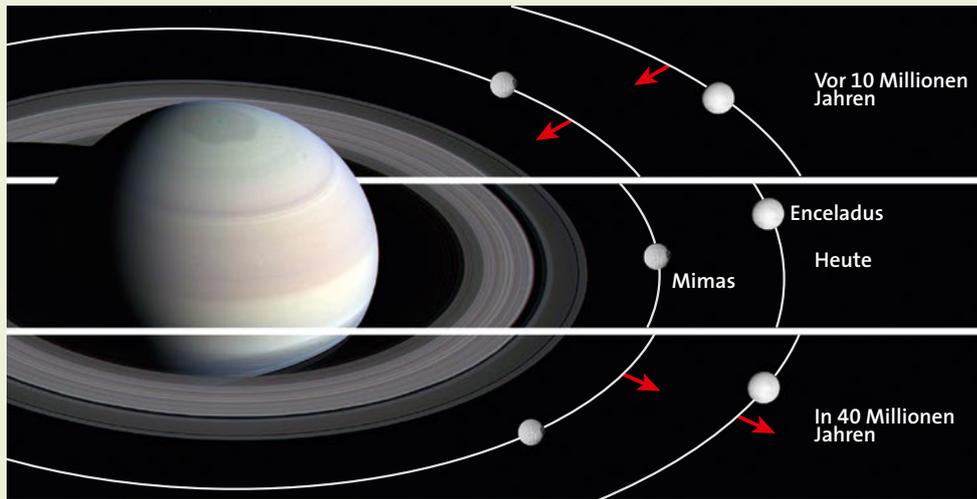
versidad de Chile, haben die Beobachtungsdaten unseres stellaren Nachbarn noch einmal genauer untersucht. Dabei konzentrierten sie sich auf die Radialgeschwindigkeitsmethode, bei der ein schwaches Hin-und-her-Taumeln des Sterns Rückschlüsse auf den gravitativen Einfluss eines oder mehrerer Planeten ermöglicht, die ihn umkreisen. Dies ist natürlich nur dann möglich, wenn solche

überhaupt vorhanden sind. Berücksichtigt man den Einfluss von Proxima Centauri b und die oft sehr starken Ausbrüche, Flares genannt, in der Atmosphäre des Zwergsterns, bleibt jedoch noch immer eine periodische Unregelmäßigkeit in der Sternbewegung übrig. Ein Hinweis auf einen zweiten Planeten?

Laut Ramirez und Jenkins passt ein Gesteinsplanet von etwa sechs Erdmassen am besten zu den Daten. Dieser könnte den roten Zwergstern in etwa demselben Abstand umkreisen wie der Mars die Sonne, ein Umlauf würde rund fünf Erdjahre dauern. Allerdings wäre der Planet extrem kalt. »Wir schätzen, dass die Oberflächentemperatur von Proxima Centauri c nur etwa 40 Kelvin beträgt«, meint

### Die Zahl des Monats

Erst im Jahr **2032** wird sich nach 2019 wieder ein **Mercurtransit** ereignen.



Vor rund zehn Millionen Jahren verlagerte sich die Umlaufbahn des Saturnmonds Mimas durch Gezeitenwechselwirkung mit dem Nachbarmond Enceladus näher an Saturn, so dass Mimas durch Gezeiteneffekte die Cassini-Teilung in den Ringen öffnete (oben). In rund 40 Millionen Jahren ist Mimas wieder so weit nach Außen gewandert, dass sich die Teilung schließt (unten).

**W I S** wissenschaft in die schulen!

## Vergängliche Cassini-Teilung

Die Cassini-Teilung in den Saturnringen, die den A-Ring vom B-Ring trennt, ist auf Dauer nicht stabil. Zu diesem Schluss kommt eine Forschergruppe um Kévin Baillié vom Observatoire de Paris. Die schon seit dem Jahr 1675 bekannte Cassini-Teilung geht auf eine Gezeitenwechselwirkung mit dem rund 400 Kilometer großen Saturnmond Mimas zurück.

Sie befindet sich dort in den Saturnringen, wo die Umlaufzeit der Ringpartikel exakt halb so lang ist wie die Umlaufzeit von Mimas um den Planeten. Dies wird als 2:1-Resonanz bezeichnet. Die Ringpartikel, welche sich in diesem Bereich befinden, werden somit bei jedem Umlauf durch die Schwerkraft von Mimas etwas aus ihrer Bahn gelenkt, bis sie nach und nach den Bereich verlassen. Allerdings ist die Cassini-Teilung nicht völlig leer, sondern es befinden sich hier nach wie vor dünne Staubringe.

Es war jedoch bislang unklar, warum sich die Cassini-Teilung über eine Breite von rund 4500 Kilometern erstreckt. Nun zeigten die Forscher um Baillié mittels aufwändiger Computer-Simulationen, dass die Breite der Cassini-Teilung variabel ist und sie auch nicht immer existiert. Sie stellten fest, dass sich die Bahn von Mimas durch Schwerkraftwechselwirkungen mit dem Nachbarmond Enceladus verändert hat, wodurch Mimas innerhalb von rund zehn Millionen Jahren rund 9000 Kilometer näher an Saturn heranrückte. Somit wirkte Mimas nach Ansicht der Forscher wie ein »Schneepflug«, der die Partikel aus der Cassini-Teilung herausdrängte und durch die Bahnveränderung die Teilung bis auf 4500 Kilometer ausweitete. Derzeit ist Mimas dabei, sich wieder von Saturn zu entfernen. Setzt er dieses Verhalten fort, so ist in rund 40 Millionen Jahren zu erwarten, dass sich die Cassini-Teilung völlig schließt.

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 486, 2019



**Gibt es im System von Proxima Centauri einen zweiten Planeten? Darauf weisen Analysen der Bewegungen des Sterns hin.**

Fabio Del Sordo, Astrophysiker an der Universität von Kreta in Griechenland. Dies entspricht minus 233 Grad Celsius – lebensfreundlich wäre der Planet also auf keinen Fall. Denn Proxima Centauri strahlt lediglich mit 0,014 Prozent der Sonnenleuchtkraft, im sichtbaren Licht sogar noch deutlich schwächer. Die Oberfläche von Proxima Centauri c wäre daher nur in einen schwachen Schein getaucht.

Doch es gibt noch andere Möglichkeiten, die Bewegung des Zwergsterns zu interpretieren. Statt eines einzelnen schweren Planeten könnten gleich mehrere leichtere Begleiter um Proxima Centauri ihre Bahnen ziehen, deren Massen sich jedoch noch nicht exakt bestimmen lassen. Dies würde auch zur

aktuell verbreiteten Theorie passen, nach der sich um massearme Sterne bevorzugt Systeme mit zahlreichen kleinen, felsigen Planeten bilden. Ein »Schwergewicht« wie Proxima Centauri c dagegen sollte kurz nach seiner Entstehung ins Innere des Systems gewandert sein. Oder aber wir müssen unsere Vorstellungen über die Planetenentwicklung gründlich überdenken.

In jedem Fall warten die Wissenschaftler auf weitere Daten, bevor sie die Existenz des Planetenkandidaten endgültig bestätigen können. Doch so unscheinbar Proxima Centauri auf den ersten Blick erscheint, unser kosmischer Nachbar hält mit Sicherheit noch einige Überraschungen bereit.

EOS 100, 2019

## Starhopper von SpaceX erfolgreich getestet

Am 27. August hob die Testrakete Starhopper der privaten Raumfahrtfirma SpaceX erfolgreich ab und landete kurze Zeit später. Das Vehikel erreichte eine Höhe von etwa 150 Metern und setzte rund 100 Meter von seinem Startort in Texas entfernt auf.

## Iranischer Satellitenstart gescheitert

Zum dritten Mal in Folge gelang es dem Iran nicht, mit eigener Rakete einen Satelliten ins All zu befördern. Am 30. August 2019 explodierte die Trägerrakete Safir beim Startversuch. Satellitenbilder der Startrampe – darunter eines von einem geheimen US-Aufklärungssatelliten – zeigen aufsteigenden Rauch und einen umgestürzten Startturm.

## Fünf Jupitermonde erhalten endgültige Namen

Die Internationale Astronomische Union IAU hat fünf kleinen Jupitermonden ihre finalen Namen aus der altgriechischen Mythologie gegeben: S/2017 J4 heißt nun Pandia, S/2018 J1 Ersa, S/2003 J5 Eirene, S/2003 J15 Philophrosyne und S/2003 J3 Eupheme.

## Sehr helle Feuerkugel über Norddeutschland

Am 12. September 2019 wurde um 14:49 Uhr MESZ über Norddeutschland eine grelle Feuerkugel am helllichten Tag beobachtet. Eventuelle Meteoritenbruchstücke könnten im südlichsten Dänemark zu finden sein.

## X-37B zwei Jahre im All

Die unbemannte Raumfähre X-37B, die am 7. September 2017 zu ihrem fünften Flug ins All aufbrach, hat ihren bisherigen Flugrekord von 717 Tagen gebrochen. An Bord befindet sich eine streng geheime Militärunterstützung.

Weitere aktuelle Meldungen aus Astronomie und Weltraumforschung finden Sie auf

[www.spektrum.de/astronomie](http://www.spektrum.de/astronomie) und [www.sterne-und-weltraum.de/twitter](http://www.sterne-und-weltraum.de/twitter)

## Abfangjäger für einen Kometen

»Comet Interceptor« ist der Name einer neuen Raumsonde der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA, die im Juni 2019 als Teil des »Cosmic Vision Programme« ausgewählt wurde. Das Projekt sieht den Start eines Raumfahrzeugs im Jahr 2028 vor, das aus einer Hauptsonde und zwei Subsonden besteht. Ziel der Mission ist es, einen Kometen, der sich auf seinem ersten Durchlauf durch das Sonnensystem befindet, abzufangen und in einem raschen Vorbeiflug in allen möglichen Details zu untersuchen.

Ungewöhnlich ist, dass das Ziel der Raumsonde noch nicht bekannt ist, wenn sie im Jahr 2028 auf die Reise geht. Zunächst fliegt Comet Interceptor von der Erde aus an den Lagrangepunkt L2, der sich aus Sicht der Sonne anderthalb Millionen Kilometer hinter der Erde befindet. Dort besteht ein dynamisches Gleichgewicht zwischen den Anziehungskräften von Erde und Sonne, so dass sich die Sonde ohne großen Schubaufwand lange an diesem Ort aufhalten kann. Comet Interceptor ist dort somit geparkt und wartet auf ihren Einsatz.

Ist schließlich ein geeigneter Komet entdeckt – es kann auch ein Objekt wie der interstellare Besucher 1I/’Oumuamua sein – der sich der Erdbahn nähert, dann wird zu einem geeigneten Zeitpunkt der Bordantrieb aktiviert und Comet Inter-

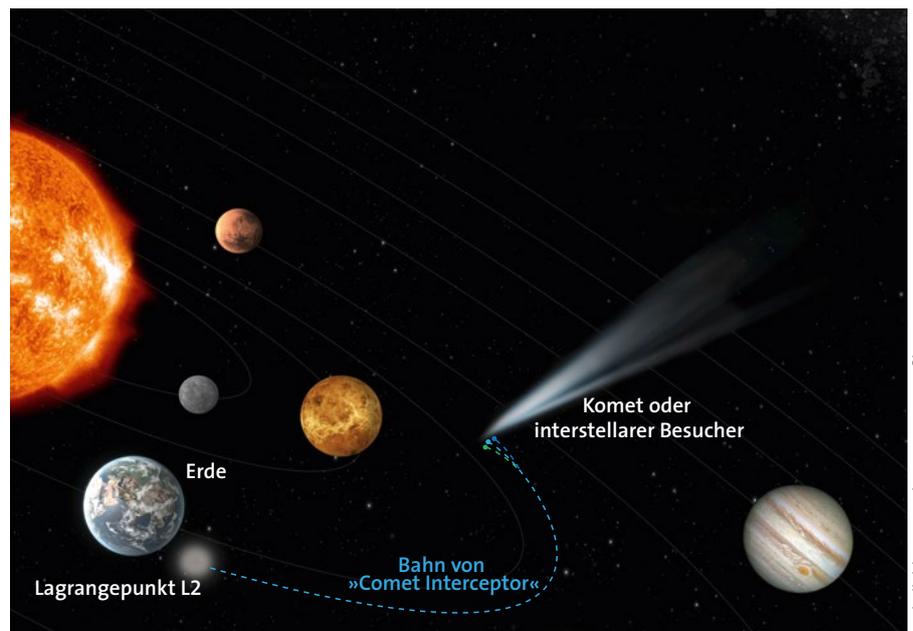
ceptor macht sich auf den Weg zu einem flinken Rendezvous (siehe auch S. 16).

Vor Erreichen des Zielobjekts trennt sich Comet Interceptor in ihre drei Teilsonden auf, die mit unterschiedlichen wissenschaftlichen Instrumenten wie Kameras und Spektrometern ausgestattet sind. Ihre Passagen am Zielkometen sind zeitlich so aufeinander abgestimmt, dass der Kometenkern aus allen Richtungen im Detail erkundet und somit vollständig erfasst wird.

Bisher führten alle Flüge zu kurzperiodischen Kometen, deren Bahnen gut bekannt sind, die sich aber auch schon recht lange relativ nahe an der Sonne befinden. Durch ihre häufigen Annäherungen an unser Tagesgestirn haben sie schon einen größeren Teil ihrer ursprünglich vorhandenen leichtflüchtigen Stoffe verloren. Somit sind sie keine unberührten Relikte aus der Frühzeit des Sonnensystems mehr.

Ein Komet dagegen, der sich der Sonne aus großer Ferne zum ersten Mal nähert – dies lässt sich anhand der Geometrie seiner Bahn ableiten – ist dagegen Material frisch aus der kosmischen Tiefkühltruhe. Dieses kann uns einiges über die Entstehung des Sonnensystems vor 4,57 Milliarden Jahren verraten. Ein interstellarer Besucher wäre natürlich mindestens ebenso interessant.

ESA, 19. Juni 2019



Symbolbild: ESA; Bearbeitung: SuW-Crafik

Drei Raumfahrzeuge gleichzeitig sollen bei der Mission Comet Interceptor einen Schweifstern bei seiner ersten Passage durch das Sonnensystem untersuchen.

## Eine reizvolle Galaxie im Kleinen Löwen – NGC 3432

Rund 27 Millionen Lichtjahre von uns entfernt im Sternbild Kleiner Löwe befindet sich die Spiralgalaxie NGC 3432, die wir exakt von der Kante her sehen. Sie wird zu den aktiven Galaxien gerechnet. Diese Aufnahme des Weltraumteleskops Hubble lässt zahlreiche Sternentstehungsgebiete erkennen, die sich in den rötlichen Blasen befinden und NGC 3432 ein fast explosives Aussehen verleihen.

Bei ihnen handelt es sich um HII-Regionen, also Gebiete, in denen relativ dichtes Wasserstoffgas durch darin befindliche heiße Sterne ionisiert und zum Aussenden sichtbaren Lichts angeregt wird. In diesem Fall leuchten die Gaswolken im rötlichen Licht der H-Alpha-Linie des Wasserstoffs. Die massereichen Sterne der Spektralklassen O und B sind so heiß, dass sie den größten Teil ihrer Strahlung im energiereichen blauen und ultravioletten Licht freisetzen. Allerdings sind diese Sterne wahre Verschwender: Sie wandeln den größten Teil des in ihnen vorhandenen Wasserstoffs rasant in



ESA/Hubble & NASA, A. Filippenko, R. Jansen (https://www.spacetelescope.org/images/potw1930a/1) / CC BY 4.0 (creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode)

Mit der ACS-Kamera nahm das Weltraumteleskop Hubble diese Ansicht der Spiralgalaxie NGC 3432 im Kleinen Löwen auf. Die rötlichen Blasen sind zahlreiche HII-Regionen, in denen eine große Anzahl von Sternen gleichzeitig entsteht.

Fusionsreaktionen zu Helium um und benötigen dafür nur wenige Millionen Jahre. Danach blähen sie sich zu Roten Riesen auf, bis sie schließlich in gewaltigen Supernova-Explosionen vergehen.

Ihre Anwesenheit in großer Zahl in NGC 3432 belegt also, dass diese Galaxie vor kurzer

Zeit eine intensive Phase massenhafter Sternentstehung durchlief, einen »Starburst«. Schuld daran ist die auf diesem Bild nicht sichtbare Begleitgalaxie PGC 32617, mit der es zu starker gravitativer Wechselwirkung kam. Diese sorgte dafür, dass die in NGC 3432 befindlichen

Ansammlungen von Gas und Staub unter ihrer eigenen Schwerkraft kollabierten und dabei unzählige junge Sterne hervorbrachten. NGC 3432 ist mit einem Durchmesser von rund 50 000 Lichtjahren beträchtlich kleiner als unser Milchstraßensystem.

ST-ECF 8. August 2019

Anzeige



HERBST AKTION

-17%

1999€

2395€

+++ Sofort ab Lager lieferbar! +++

## 100mm ED APO-Fernglas

inkl. zwei 18mm UF Weitwinkelokularen  
als Version mit 45°- oder 90°-Einblick erhältlich



Einarmmontierung

95 € 195 €



Hartschalenkoffer

249 € 295 €



NEU

Astronomisch optimierter  
Leuchtpunktsucher

62 € 69 €



Gabelmontierung

585 € 650 €

E-Mail: [info@apm-telescopes.de](mailto:info@apm-telescopes.de) Tel.: +49 (0)6897 924929-0 Fax: -9 [www.apm-telescopes.de](http://www.apm-telescopes.de)

## Ein zweiter interstellarer Besucher – 2I/Borisov

Am 30. August 2019 richtete der russische Amateurastronom Gennadij Borisow auf der Halbinsel Krim sein 65-Zentimeter-Spiegelteleskop auf den Himmel, um nach leuchtschwachen Kometen zu suchen. Er stieß auf ein winziges, verwaschenes Lichtfleckchen und leitete seinen Fund an das Minor Planet Center (MPC) im US-amerikanischen Cambridge in Massachusetts weiter. Dort

werden alle Entdeckungen von kleinen Himmelskörpern im Sonnensystem registriert und ausgewertet. Schon bald fiel auf, dass sich der Himmelskörper mit der vorläufigen Bezeichnung gb00234 auf einer ungewöhnlichen Bahn bewegte, die darauf hindeutete, dass er ein weiterer Besucher aus dem interstellaren Raum sein könnte.

Um der Sache auf den Grund zu gehen, ermittelte

eine Woche nach der Entdeckung der Astronom Marco Micheli von der Europäischen Weltraumbehörde ESA mit dem Canada-France-Hawaii-Telescope mehrmals die Himmelspositionen des Objekts. Daraufhin bestätigte sich der Verdacht, denn es wurde nun klar, dass der Himmelskörper nicht auf einer elliptischen Bahn um die Sonne läuft. Stattdessen folgt sein Bahnverlauf durch das Sonnensystem einer offenen Kurve, die als Hyperbel bezeichnet wird. Die Exzentrizität wurde drei Wochen nach Beginn der Beobachtungen mit  $e = 3,4$  angegeben und ist damit viel höher als beim ersten interstellaren Besucher 1I/'Oumuamua im Oktober 2017 (siehe SuW 1/2019, S. 26).

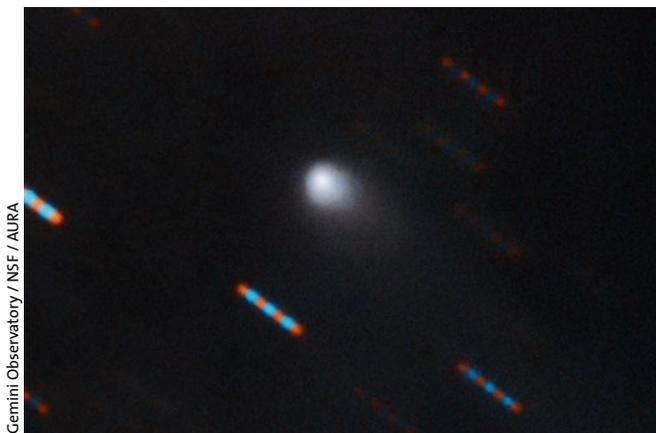
Ende September gab die IAU dem Objekt seine offizielle Bezeichnung und stufte es als Kometen interstellarer Herkunft ein. Der zweite interstellare Besucher heißt nun 2I/Borisov. Aufnahmen

mit Großinstrumenten weltweit, wie beispielsweise dem Acht-Meter-Teleskop Gemini North auf Hawaii, lassen eindeutig einen Schweif und eine rundliche Gashülle um den Kern erkennen, eine Koma, wie sie für Kometen typisch sind (siehe Bild).

Komet Borisov durchquert unser Sonnensystem mit einer Bahnneigung von etwa 44 Grad relativ zur Erdbahnebene und bewegt sich relativ zur Sonne mit 42 Kilometern pro Sekunde. Er wird unserem Planeten und unserem Zentralgestirn nicht näher als 300 Millionen Kilometer oder dem zweifachen Abstand Erde – Sonne kommen. Den geringsten Abstand zur Sonne durchläuft Komet Borisov am 9. Dezember 2019.

Da der Komet schon im August entdeckt wurde und er wesentlich heller als sein Vorgänger ist, werden ihn die Forscher weltweit im Detail untersuchen und hoffentlich viel herausfinden.

ESA, NASA-JPL, Gemini North, 16. September 2019



Gemini Observatory / NSF / AURA

Mit dem Acht-Meter-Teleskop Gemini North auf dem Mauna Kea entstand dieses Farbbild des Kometen Borisov mit deutlichem Schweif. Die bunten Striche sind Hintergrundsterne.

## »Sterne und Weltraum«-Gewinnspiel

Mit etwas Glück können Sie ein Exemplar des reich illustrierten, informativen und lesenswerten Sachbuchs »Mensch und Universum – Unser Platz in Raum und Zeit« aus dem Franckh-Kosmos-Verlag in Stuttgart gewinnen.

Senden Sie die Ziffern der Fragen und den jeweils zugehörigen Buchstaben der richtigen Lösung bis zum **8. November 2019** per E-Mail mit der Betreffzeile »PLATO« an: [gewinnspiel@sterne-und-weltraum.de](mailto:gewinnspiel@sterne-und-weltraum.de)

**Frage 1:** Wann soll die Exoplanetenmission PLATO starten?

- a) 2024
- b) 2025
- c) 2026

**Frage 2:** Wieviele Teleskope verwendet PLATO?

- a) 26
- b) 28
- c) 30

**Frage 3:** PLATO wird an welchem Lagrangepunkt arbeiten?

- a) L<sub>1</sub>
- b) L<sub>2</sub>
- c) L<sub>3</sub>



Unter allen Lesern, die uns die richtige Lösung per E-Mail an [gewinnspiel@sterne-und-weltraum.de](mailto:gewinnspiel@sterne-und-weltraum.de) schicken, verlosen wir oben genannten Preis. Einsendeschluss ist der 8. November 2019. Bitte beachten Sie untenstehende Teilnahmebedingungen.

**Teilnahmebedingungen für die Preisausschreiben von »Sterne und Weltraum«:** Die im jeweiligen Preisausschreiben beschriebenen Gewinne werden unter allen Teilnehmern, die uns bis zum genannten Einsendeschluss mit Nennung ihrer Postadresse die richtige Lösung geschickt haben, verlost. Nicht teilnehmen dürfen Mitarbeiter des Verlages Spektrum der Wissenschaft und deren Angehörige. Die Namen der Gewinner (und bei »Zum Nachdenken« aller Teilnehmer mit der richtigen Lösung) werden in »Sterne und Weltraum« veröffentlicht. Die Teilnehmer erklären sich mit der Veröffentlichung von Name, Vorname sowie Wohnort zu diesem Zweck einverstanden. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

**Datenschutzhinweis:** Die personenbezogenen Daten der Teilnehmer werden ausschließlich für die Durchführung des Gewinnspiels, d.h. die Verlosung und die Kontaktaufnahme zum Teilnehmer zum Zwecke der Gewinnbenachrichtigung und Zusendung genutzt.

Eine mögliche Weitergabe der Daten an Dritte erfolgt nur im Rahmen der Gewinnspielabwicklung. Die erhobenen personenbezogenen Daten werden nach Abschluss des Gewinnspiels gelöscht.

Sie können Ihre Datenschutzrechte nach Art. 15 ff. DSGVO ausüben, indem Sie uns unter [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de) kontaktieren.

**Veranstalter der Gewinnspiele von »Sterne und Weltraum«** ist: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstraße 15–17, 69121 Heidelberg.

## Erste Mondlandung Indiens gescheitert

Der erste Versuch Indiens, sanft auf dem Mond aufzusetzen, scheiterte um 22:20 Uhr MESZ am 6. September 2019, als in einer Höhe von 2100 Metern über Grund der Funkkontakt zur Landesonde Vikram plötzlich abbriss. Seitdem war von ihr nichts mehr zu hören, so dass sie mit hoher Wahrscheinlichkeit zerschellt ist. Allerdings ist die Mission kein totaler Fehlschlag, denn der Orbiter Chandrayaan-2, mit dessen Hilfe Vikram eine Umlaufbahn um den Mond erst erreichen konnte, ist wohlauf und seine acht wissenschaftlichen Instrumente zur Erkundung der Mondoberfläche arbeiten einwandfrei.

Chandrayaan-2 (indisch: Mondfahrzeug) machte sich am 22. Juli 2019 vom indischen Raketenstartplatz Satish Dhawan Space Centre in Sriharikota am Golf von Bengalen auf den Weg. Danach flog Chandrayaan-2 nicht direkt zum Mond, sondern zunächst in eine stark elliptische Erdumlaufbahn. Durch mehrere Schubmanöver mit dem Bordantrieb wurde deren erdfenster Punkt immer weiter angehoben, bis die Bahnellipse so groß war, dass sie die Mondbahn erreichte. Am 20. August führte die Missionsleitung ein kurzes Schubmanöver durch, um die Sonde in eine Mondumlaufbahn eintreten zu lassen. In den folgenden zwei Wochen schlossen sich weitere Schubmanöver an. Am 3. September befand sich Chandrayaan-2 in einer annähernd kreisförmigen Bahn in rund 100 Kilometer Höhe über der Mondoberfläche, woraufhin sich die Landesonde vom Orbiter trennte.

Am Abend des 6. September machte sich Vikram auf den Abstieg zur Mondoberfläche. Benannt war die rund 1,4 Tonnen schwere Sonde nach Vikram Sarabhai (1919–1971), dem Begründer des indischen Weltraumprogramms. Der angestrebte Landeplatz befand sich auf der Mondvorderseite bei rund 70 Grad südlicher Breite und 23 Grad östlicher Länge. Vikram sollte wenige Stunden nach der sanften Landung einen kleinen Rover namens Pragyan (Sanskrit: Weisheit) aussetzen. Pragyan war rund 27 Kilogramm schwer.

Mit Chandrayaan-2 wollte Indien beweisen, dass es vor allem mit der Volksrepublik China in Sachen Weltraumfahrt auf Augenhöhe ist. Nun haben diese Ambitionen allerdings einen deutlichen Dämpfer bekommen, denn China kann schon zwei erfolgreiche Mondlandungen vorweisen und plant in wenigen Monaten eine Mission zur Rückführung von Mondgestein. ISRO, 9. August 2019



Indian Space Research Organisation (ISRO)

Der indische Mondlander Vikram – hier im Reinraum bei der Endmontage – sollte am 6. September 2019 sanft auf der Mondoberfläche aufsetzen, zerschellte aber beim Landeanflug.



Vor 50 Jahren

### Dasar – Eine Art Anti-Maser

»Die Entdeckung des Formaldehyds ( $H_2CO$ ) in Absorption bei der Frequenz 4830 Megahertz [Wellenlänge 6,2 Zentimeter] (Phys. Rev. Lett., Vol. 22, S. 679, 1969) hat die

Radioastronomie vor ein neues Problem gestellt. Die bisher bekannten Linien von Molekülen wie OH,  $H_2O$  und  $NH_3$  wurden vorzugsweise in Emission beobachtet. Die sehr hohe Intensität der Linien wurde durch einen Masermechanismus erklärt. ... Die Absorptionslinien des Formaldehyds werden in Dunkelwolken gefunden, in denen nach bisheriger Kenntnis keine Radioquelle steht, deren Strahlung absorbiert werden könnte. Man hat es hier vielleicht mit einem Prozeß stimulierter Absorption der Drei-Kelvin-Strahlung zu tun und könnte analog zum Maser von einem Dasar sprechen (Darkness Amplification by Stimulated Absorption of Radiation). Nach [Nobelpreisträger Charles] Townes sind Stoßprozesse denkbar, die zu einer Übervölkerung des Grundzustandes führen und damit der Anlaß dieses Dasar-Effektes sind.« (SuW, November 1969, S. 272)

Der hier zitierte SuW-Kurzbericht bezieht sich auf die im Sommer 1969 an der University of Cambridge durchgeführte Tagung über »Infrarot- und Mikrowellenstrahlung von galaktischen und extragalaktischen Nebeln«. Besondere Aufmerksamkeit fand dort das interstellare Formaldehyd, war es doch erst das vierte der im Zentimeterbereich gefundenen Moleküle. Schon bei seiner Entdeckung am 42-Meter-Teleskop des National Radio Astronomy Observatory in Green Bank wenige Monate zuvor war aufgefallen, dass die Absorption sich auf die Drei-Kelvin-Hintergrundstrahlung beziehen musste. Das ermöglichte der oben erwähnte Anti-Maser-Effekt, der zu einer scheinbaren Temperatur von nur 1,8 Kelvin führte. Wegen des dabei zu erwartenden geringen Rauschens wurde sogar vorgeschlagen, die Frequenz der  $H_2CO$ -Linie für die Suche nach extraterrestrischer Intelligenz einzusetzen.

Das mögen eher Kuriositäten sein. Große Bedeutung hat  $H_2CO$  aber als Thermometer: Es erlaubt, die Temperatur in dichten interstellaren oder zirkumstellaren Wolken im Bereich von kalten zehn Kelvin bis zu einigen hundert Kelvin zuverlässig zu bestimmen. Außerdem wurde im letzten Jahrzehnt die Linie bei 4,83 Gigahertz auch als Maser in Emission entdeckt, mit der hilfreichen Eigenschaft, dass dies ausschließlich bei der nicht leicht zu beobachtenden Entstehung massereicher Sterne auftritt. Allerdings wurden bisher nur neun solcher Maser gefunden.

Formaldehyd bereichert als organisches Molekül die im interstellaren und zirkumstellaren Medium ablaufenden chemischen Reaktionen zur Bildung komplexerer Moleküle. Dabei ist von Bedeutung, dass  $H_2CO$  sich sowohl in der Gasphase als auch auf Staub- und Eisteilchen bilden kann und dass zum Beispiel Reaktionen des Formaldehyds mit sich selbst in natürlicher Weise zum Aufbau von Zuckermolekülen führen können.

CHRISTOPH LEINERT