



lonely planet

Das Universum

Ein Reiseführer

In Zusammenarbeit mit NASA JPL

Die Lonely Planet Story

Ein ziemlich mitgenommenes, altes Auto, ein paar Dollar in der Tasche und eine Vorliebe für Abenteuer.

1972 war das alles, was Tony und Maureen Wheeler für die Reise ihres Lebens brauchten. Getroffen hatten sie sich auf einer Parkbank im Londoner Regent's Park und ein Jahr später geheiratet. Als Flitterwochen beschlossen sie, etwas zu versuchen, was nur wenige für möglich hielten: quer durch Europa und Asien bis nach Australien zu reisen.

Und die Erfahrung war zu einzigartig, um sie für sich zu behalten. Auf Drängen ihrer Freunde hin saßen die Wheelers nächtelang an ihrem Küchentisch und schrieben, tippeten und hefteten ihren ersten Reiseführer, *Across Asia on the Cheap*.

Innerhalb einer Woche hatten sie 1500 Exemplare verkauft. Lonely Planet war geboren. Nach ihrer zweiten Reise entstand zwei Jahre später *Southeast Asia on a Shoestring*, was wiederum Bücher über Nepal, Australien, Afrika und Indien nach sich zog – und mehr als 40 Jahre später dieses Buch möglich machte.

WWW.LONELYPLANET.DE

Titelfoto Säulen der Schöpfung (Adlernebel) courtesy of NASA.

Bild Buchrücken M106 courtesy of NASA.



Das Universum

Ein Reiseführer

Inhalt

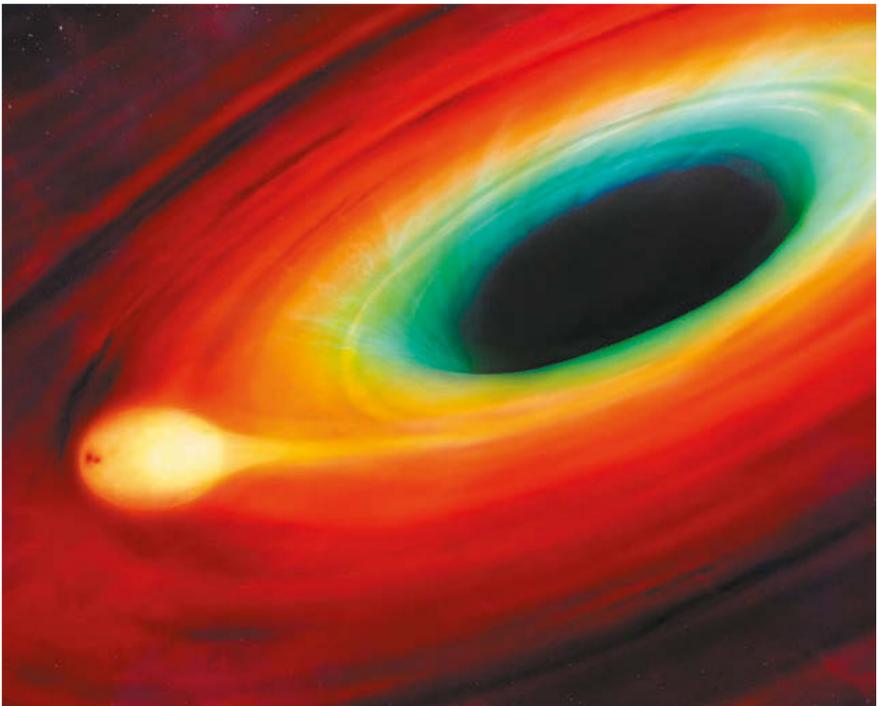
Vorwort	6	Merkur	68	Silfra-Spalte	133
Das Universum: eine Einführung	8	Orientierung	72	Death Valley	134
Die Größe des Universums	10	Magnetosphäre	73	Antarktis	136
Moderne Beobachtungs- methoden	12	Geschichte	74	Great Barrier Reef... 138	
Heutige Teleskope....	14	Gestatten: BepiColombo	76	Amazonas- Regenwald	140
Anleitung zur Benutzung dieses Buchs	16	Der Merkur in der Kultur.....	77	Ngorongoro-Krater ..	142
Namensgebung	18	Caloris Planitia	79	Chinesische Mauer ..	144
Highlights	20	Pantheon Fossae.....	80	Mond	146
Sonnensystem	22	Raditladi-Becken.....	81	Orientierung.....	150
Durchgänge & Finsternisse	28	Rachmaninoff-Krater .	82	Geschichte	152
Die Planeten des Sonnensystems	30	Caloris Montes.....	83	Der Mond in der Kultur.....	156
Bemannte Raumfahrt ...	48	Venus	84	Gestatten: Apollo 11 .	158
Wettlauf ins All.....	48	Orientierung	88	Der Lunar Orbital Gateway	160
Wettlauf zum Mond... 50		Atmosphäre	90	Mondfinsternis.....	161
Das Shuttle- Programm.....	51	Geschichte	91	Meer der Ruhe.....	163
Die Raumfahrt heute	52	Die Venus in der Kultur.....	94	Südpol-Aitken- Krater	164
Die Internationale Raumstation.....	53	Gestatten: Mariner ...	95	Kopernikus-Krater... 165	
Sonne.....	54	Gestatten: Magellan ..	96	Montes Apenninus ..	166
Orientierung.....	58	Zeichen von Leben ...	98	Oceanus Procellarum .	167
Atmosphäre	60	Baltis Vallis.....	101	Mars	168
Die Heliosphäre	61	Maat Mons	102	Orientierung.....	172
Sonneneruptionen und was sich dahinter verbirgt	62	Alpha Regio	103	Die Kartografierung des Mars: Von Meeren zu Kratern ..	173
Geschichte	64	Maxwell Montes.....	104	Die Marsmonde Phobos und Deimos	174
Die Sonne in der Kultur.....	66	Aphrodite Terra	105	Atmosphäre/ Magnetosphäre	177
Erde	106	Erde	106	Geschichte	178
Orientierung	110	Die Beobachtung der Erde durch Satelliten: zehn NASA-Missionen, die zum besseren Verständnis des Planeten beitragen ..	120	Leben auf dem Mars: der Rote Planet in der Kultur.....	182
Die Schichten der Atmosphäre	112	Mount Everest	124	Der Mars als Forschungs- objekt.....	186
Die Magnetosphäre... 113		Challengertief	126	Gestatten: Curiosity .	188
Geschichte	114	Atacama-Wüste	128	Gestatten: InSight – die jüngste NASA-Mission zum Mars	190
Die Beobachtung der Erde durch Satelliten: zehn NASA-Missionen, die zum besseren Verständnis des Planeten beitragen ..	120	Mauna Kea	130	Reise zum Mars – der Wagen wartet.....	194
Mount Everest	124	Chicxulub-Krater	132	Polkappen.....	196
Challengertief	126				
Atacama-Wüste	128				
Mauna Kea	130				
Chicxulub-Krater	132				

Tharsis Montes	198	Oberfläche & Atmosphäre	275	Kuipergürtel	326
Olympus Mons.	200	Die Auroras des Uranus.	276	Zwergplaneten	328
Valles Marineris.	201	4 Fakten zur Magnetosphäre	277	Eris.	330
Hellas Planitia	202	Ringsysteme.	280	Farout (2018 VG18).	331
Bagnold-Dünenfeld.	203	Miranda.	284	2015 TG387 („The Goblin“).	332
Gale-Krater.	204	Ariel.	285	Haumea.	333
Elysium Planitia.	206	Umbriel.	286	Makemake	334
Syrtis Major Planum.	208	Oberon	287	Pluto	336
Utopia Planitia	209	Titania.	288	Kometen	338
Vastitas Borealis	210	Die Schäfermonde	289	Borrelly	340
Jupiter	212	Neptun.	290	C/1861 G1 Thatcher	341
Orientierung.	216	Orientierung.	294	Hale-Bopp.	342
Atmosphäre	217	Magnetosphäre	295	Halley.	343
Geschichte	218	Geschichte	296	Hartley 2	344
Großer Roter Fleck	222	Neptun in der Kultur.	299	ISON.	345
Ringsystem.	224	Neptuns Oberfläche & Atmosphäre	301	'Oumuamua	346
Oberfläche	225	Neptuns Ringe.	302	Shoemaker-Levy 9	347
Wolken.	226	Proteus	303	Swift-Tuttle	348
Ozeane	227	Triton	304	Tempel 1	349
Magnetosphäre	228	Nereid	306	Tempel-Tuttle	350
Juno-Mission	230	Neptuns andere Monde	308	Tschurjumow- Gerassimenko	351
Io	232	Asteroiden, Zwergplaneten und Kometen: Nicht- planetarische Objekte des Sonnensystems	310	Wild 2.	352
Europa.	234	Asteroidengürtel & Asteroiden.	312	Ortsche Wolke	353
Ganymed.	236	Bennu	314	Exoplaneten	354
Kallisto	238	Ceres	316	2MASS J2126-8140.	360
Saturn	242	Chariklo.	317	51 Pegasi b	361
Orientierung.	246	EH1.	318	55 Cancri	362
Geschichte	248	Eros	320	Barnards Stern b.	364
Cassini-Mission	253	Ida	321	CoRoT-7b.	366
Saturnringe	254	Itokawa	322	CVSO 30b und c	368
Magnetosphäre des Saturns	256	Phaethon	323	Epsilon Eridani.	370
Saturnoberfläche	257	Psyche.	324	Fomalhaut b.	372
Titan.	258	Vesta	325	Gliese 163 b, c und d	373
Enceladus	260	Oberfläche & Atmosphäre	275	Gliese 176 b	374
Rhea, Dione & Tethys.	262	Die Auroras des Uranus.	276	Gliese 436 b.	375
Iapetus	263	4 Fakten zur Magnetosphäre	277	Gliese 504 b.	376
Mimas	264	Ringsysteme.	280	Gliese 581 b, c und e.	378
Phoebe	265	Miranda.	284	Gliese 625 b.	380
Uranus	266	Ariel.	285	Gliese 667 Cb und Cc	381
Orientierung.	270	Umbriel.	286		
Geschichte	272	Oberon	287		
		Titania.	288		
		Die Schäfermonde	289		

Gliese 832 b und c . . .	382	Kosmische Objekte	438	Katzenaugennebel . .	486
Gliese 876 b, c, d und e	383	Sternentstehung: Nebel und		Keplers Supernova . .	487
Gliese 3470 b	384	Protosterne	442	Kes 75	488
GQ Lupi b	385	Hauptreihensterne . .	443	Kleiner Hantelnebel .	489
HAT-P-7 b	387	Riesensterne	444	Krebsnebel	490
HAT-P-11 b	388	Doppelsterne und		Mira	491
HD 40307 g	390	Sternhaufen	445	MY Camelopardalis .	492
HD 69830 b, c und d	391	Sternentode	446	Nordamerikanenebel .	493
HD 149026 b	391	Lebenszyklen von		Omega Centauri . . .	494
HD 189733 b	394	Sternen	450	Orionnebel	495
HD 209458 b	396	Spektralklassifi- kation	453	Pferdekopfnebel . . .	496
HIP 68468 b und c	398	1E 2259+586	454	Plejaden	497
Kapteyn b und c . . .	399	3C 273	455	Polarstern	498
KELT-9 b	400	Achernar	456	Prokyon	499
Kepler-10 b und c . . .	402	Aldebaran	457	RCW 86	500
Kepler-11 b bis g . . .	403	Algol	458	Regulus	501
Kepler-16 (AB)-b . . .	404	Almaaz	459	Rigel	502
Kepler-22 b	405	Alpha Centauri A . . .	460	Ringnebel	503
Kepler-62 b bis f . . .	406	Alpha Centauri B . . .	461	Rosettennebel	504
Kepler-70 b und c . . .	407	Altair	462	Sagittarius A*	505
Kepler-78 b	408	Antares	463	SAO 206462	506
Kepler-90 b	409	Arktur	464	SDSSJ0927+2943 . .	507
Kepler-186 b bis f . . .	410	Barnards Stern	465	SGR 1806-20	508
Kepler-444 b bis f . . .	412	Beteigeuze	466	Sirius	509
Kepler-1625 b und sein Exomond	413	Canopus	467	Spica	510
Kepler-1647 (AB)-b . .	414	Capella	468	Tabbys Stern	511
Lich System (PSR B1257+12)	416	Cirrusnebel	469	T Tauri	512
Methusalem	418	Cygnus X-1	470	ULAS J1120+0641 . .	513
Pi Mensae b und c . . .	420	Deneb	471	UY Scuti	514
Pollux b	421	Eta Carinae	472	Vega	515
Proxima b	422	Eulennebel	473	VY Canis Majoris . . .	516
PSO J318.5-22	424	Granatstern	474	W40	517
Ross 128 b	425	GRS 1915+105	475	Galaxien	518
TRAPPIST-1	426	Hantelnebel	476	Andromeda- galaxie	522
TrES-2 b	428	HE 1256-2738	477	Blackeye-Galaxie . . .	525
WASP-12 b	430	HE 2359-2844	478	Bodes Galaxie	526
WASP-121 b	432	Helixnebel	479	Canis-Major-Zwerg- galaxie	528
Wolf 1061 b, c und d	434	HLX-1	480	Centaurus A	529
YZ Ceti b, c und d . . .	437	HV 2112	481	Circinusgalaxie	530
		IGR J17091-3624	482	Condor-Galaxie	531
		Irisnebel	483	Dreiecksgalaxie	532
		Jupiters Geist	484		
		Kaliforniennebel	485		

Elliptische Sagittarius-Zwerggalaxie	533	W2246-0526	552	Fornax-Galaxienhaufen	572
Feuerradgalaxie	534	Wagenradgalaxie	554	Lokale Gruppe	574
Große und Kleine Magellansche „Wolke“	536	Whirlpool-Galaxie	555	Musket Ball Cluster	576
Große Spiralgalaxie	539	Zigarrengalaxie	557	Norma-Galaxienhaufen	578
Hoags Objekt	540	Galaxien auf Kollisionskurs	558	Pandora's Cluster	579
Kaulquappengalaxie	541	Antennengalaxien	559	Perseushaufen	581
M77	542	Arp 148 (Mayall's Object)	561	Phoenix Cluster	583
M87	543	Arp 273	562	Virgo-Galaxienhaufen	584
Malin 1	545	NGC 2207 & IC 2163	563	Glossar	590
Markarian 231	546	NGC 2623	565	Register	596
NGC 1512	547	NGC 3256	566	Bildnachweis	605
NGC 3370	548	Galaxienhaufen	567	Die Autoren	607
Sculptor-Galaxie	549	Abell 1689	568		
Sombrero-Galaxie	550	Bullet-Cluster	569		
Sonnenblumengalaxie	551	El Gordo	571		

Ein Stern wird wegen seiner Nähe zu einem supermassereichen Schwarzen Loch in der Mitte einer Galaxie verzerrt.



© SCIENCE PHOTO LIBRARY / ALAMY STOCK PHOTO

Willkommen im Universum

Bill Nye

Unsere Existenz ist eigentlich ein verblüffender Zufall. *Das Universum* von Lonely Planet vermittelt andere, oft atemberaubende Perspektiven zu diesem Zufall, weitere, oft tiefe Einsichten und wenig bekannte Fakten. Einfach gesagt: Die Abfolge kosmischer Ereignisse, die eintreten mussten, damit wir auf dieser Erde leben und Bücher wie das vorliegende veröffentlichtlichen können, ist schon erstaunlich. Einmalig in diesem Buch sind die Vergleiche der Erde mit anderen Planeten in unserem Sonnensystem und selbst mit jenen Exoplaneten, die andere Sonnen umkreisen. So wird die Idee anschaulich, dass wir alle und alles um uns herum aus dem Staub bestehen, der von explodierenden alten Sonnen durch den Weltraum geschleudert wurde. Aus Sternestaub und Gaswolken entstand schließlich das Leben, darunter auch die Art, der wir alle angehören. Wir sind eine der Möglichkeiten, durch die der Kosmos von sich selbst weiß. Und diese unglaubliche Idee erfüllt mich mit Ehrfurcht.

Dieses Buch schaut über das Alltagsgeschehen hinaus. Von der Erdoberfläche aus beobachteten einst unsere Vorfahren unseren Planeten in Relation zum Nachthimmel und zur Sonne. Sie lernten, wo sie leben und wie sie überleben konnten. Aus der eisigen Schwärze des Weltraums nehmen heute Raumfahrzeuge, gebaut von den besten Wissenschaftlern und Ingenieuren, weitere Beobachtungen vor, die immer wieder zeigen, dass die Erde keinem anderen Ort im Sonnensystem gleicht und

© DESIGN PICS INC./ALAMY STOCK PHOTO



der einzige Ort ist, wo wir leben können. Wenn wir die Veränderungen begreifen, die sich hier in den letzten 1000 Jahren vollzogen haben, müssen wir einsehen, dass wir unsere Umwelt bewahren müssen, wenn wir weiterhin gedeihen wollen. Sonst werden wir aussterben wie 90 % der Arten, die auf der Erde ihre Chance hatten, ehe wir Menschen auf den Plan traten.

Diese kosmische Perspektive verleitet uns, die Erde mit den anderen Planeten da draußen zu vergleichen. Die Erde ist ziemlich groß, besonders wenn man versucht, sie zu Fuß zu umrunden. Doch das relativiert sich, wenn man weiß, dass 1300 Erden in eine Kugel von der Größe des Jupiters passen würden. Die sichtbaren – sozusagen „qualitativen“ – Unterschiede der Planeten würdigen wir meist, doch dieses Buch hilft, sie auch zahlenmäßig – also quantitativ – zu verstehen: Wie verschieden nicht nur die Planeten (und Exoplaneten!), sondern auch unsere Sonne und die unzähligen sichtbaren und unsichtbaren Sterne doch sind! Hier werden die Unterschiede benannt und zahlenmäßig erfasst.



Balkenspiralgalaxie NGC 1300

Mars, Venus und Merkur sind in ihrer Zusammensetzung aus Gestein und Metallen der Erde sehr ähnlich, aber was drumherum ist, ist völlig verschieden. Warum das so ist, erklärt dieses Buch in Text und Bild. Auch die chemischen Zusammensetzungen der Felsen, Krater und Sande der anderen Planeten sind buchstäblich nicht von dieser Welt. All diese Elemente zusammen erzeugen absolut verschiedene Oberflächentemperaturen auf Mars und Venus. Unsere Entdeckungen auf anderen Himmelskörpern erteilen uns eine planetengroße Lektion über die Bedeutung des Treibhauseffekts, lehren uns, wie die Erde bewohnbar wurde und wie die Biochemie des Lebens die Zusammensetzung der Atmosphäre und des Meeres veränderte.

Die riesigen Gasplaneten Jupiter und Saturn weiter draußen scheinen noch nicht einmal echte Oberflächen zu besitzen. Es gibt keinen Ort, auf dem man stehen könnte – aber wegen der Planetenmasse würde einen die Schwerkraft ohnehin zerdrücken. Noch weiter von der Sonne entfernt kreisen Uranus und Nep-

tun. Sie sind sehr groß, sehr kalt und haben eisige Sturmsysteme. All diese Planeten liegen in unserem Sonnensystem, alle sind sehr verschieden, sehr interessant und – außer der Erde – lebensfeindlich.

Beim Lesen dieses Buches wird deutlich, dass es unseres Wissens nach nirgendwo einen Planeten gibt, auf dem wir auch nur Atem schöpfen oder einen Schluck trinkbares Wasser finden, geschweige denn leben und gedeihen könnten. Die Erde ist einzigartig, erstaunlich und unser Zuhause.

Aus kosmischer Perspektive betrachtet, haben wir es ziemlich weit gebracht. Wir haben das Klima eines ganzen Planeten verändert. Die Zahlen sprechen für sich. Der Klimawandel ist menschengemacht. Wenn wir es in dieser Welt noch weiterbringen wollen, müssen wir einiges rückgängig machen. Genau jetzt haben wir die Chance, etwas zu verändern. Im Kosmos ist die Erde nur ein Staubkorn. Aber sie ist unser Staubkorn, und je mehr wir sie kennen und schätzen, umso größer sind die Chancen, sie für Spezies wie die unsere bewohnbar zu erhalten.

Das Universum: eine Einführung

Unser Universum umfasst schätzungsweise 2 Billionen Galaxien und unzählige Sterne, Exoplaneten, Schwarze Löcher, Nebel, Galaxienhaufen und vieles mehr, was Wissenschaftler eingehend studieren.

© MAX EMMISON / ALAMY STOCK PHOTO



Das Universum entstand in einer gewaltigen Explosion, dem Urknall, vor rund 13,7 Mrd. Jahren. Man weiß dies aus der Beobachtung von Licht, das zeitlich und räumlich große Entfernungen zurückgelegt hat und uns heute erreicht: Die NASA-Sonde Wilkinson Anisotropy Microwave Probe (WMAP) entdeckte Mikrowellenstrahlung aus einer sehr frühen Zeit rund 400 000 Jahre nach dem Urknall.

Auf den Urknall folgte eine Periode der Dunkelheit, bis einige hundert

Millionen Jahre später die ersten Objekte Licht ins Universum brachten. Die ersten Sterne waren viel größer und heller als alle, die sich heute in unserer Nähe befinden; ihre Masse betrug rund das Tausendfache der Masse der Sonne. Diese Sterne gruppieren sich zunächst zu Minigalaxien; das Hubble-Weltraumteleskop hat faszinierende Bilder von jenen frühen Galaxien aufgenommen, die 10 Mrd. Lichtjahre entfernt sind, deren Licht also vor 10 Mrd. Jahren ausgesandt wurde.

Einige Milliarden Jahre nach dem Urknall verschmolzen die Minigalaxien zu größeren Galaxien, u. a. zu Spiralnebeln wie der Milchstraße. Das Weltall dehnt sich gemäß der Hubble-Konstante weiter aus. Heute, 13,7 Mrd. Jahre nach dem Urknall, kreist die Erde um einen Stern mittleren Alters in einem Arm einer Galaxie mit einem supermassiven Schwarzen Loch in der Mitte. Unser Sonnensystem umkreist das Zentrum der Milchstraße, die wiederum durch den Raum rast.



Unter der Milchstraße (San Pedro de Atacama, Chile)

Die Größe des Universums

Im Laufe der Geschichte haben die Menschen mit verschiedenen Techniken und Methoden versucht, die Fragen „Wie weit entfernt?“ und „Wie groß?“ zu beantworten. Generationen von Forschern und Entdeckern blickten immer tiefer in die Weiten des Universums. Auch heute noch werden neue Methoden entwickelt und immer neue Entdeckungen gemacht.

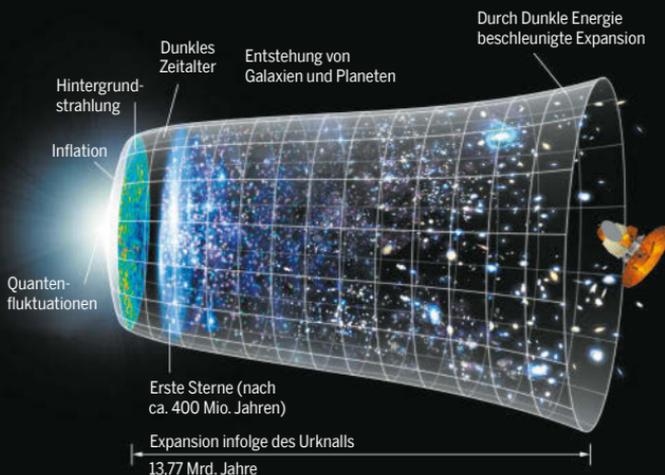
Im 3. Jh. v. Chr. fragte Aristarch von Samos, wie weit der Mond entfernt sei. Er konnte die Entfernung messen, indem er während einer Mondfinsternis den Schatten der Erde auf dem Mond beobachtete.

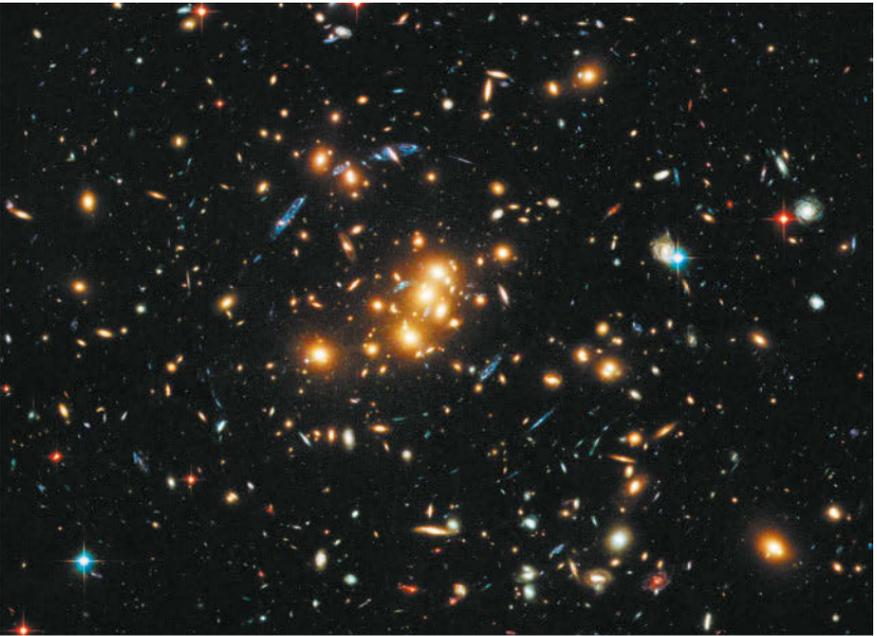
Edmund Halley, der die Rückkehr des Kometen vorhersagte, der seinen Namen trägt (S. 344), fand vor 300 Jahren einen Weg, die Entfernung zur Sonne und zur Venus zu messen. Er wusste, dass die Venus nur sehr selten – alle 121 Jahre – direkt zwischen Erde und Sonne steht. Die scheinbare Position des Planeten im Verhältnis zu der dahinter befindlichen Sonnenscheibe verschiebt sich je nach Beobachtungsstandort auf der Erde. Wie unterschiedlich diese Verschiebung ausfällt, hängt von der Entfernung sowohl der Venus als auch der Sonne von der Erde ab.

Dieses seltene Ereignis, der Venustransit, ereignete sich zuletzt am 8. Juni 2004. Durch ihn konnte die Entfernung der Erde von der Sonne berechnet werden – der Weg war geebnet, um die Abmessungen des gesamten Sonnensystems zu ermitteln.

Die Sonne mit ihren Planeten ist nur ein kleiner Teil unserer Galaxie. Die Milchstraße ist wie eine riesige Sternstadt, so groß, dass man bei Lichtgeschwindigkeit 100 000 Jahre brauchte, um sie zu durchqueren. All die Sterne am Nachthimmel und auch unsere Sonne sind nur einige der „Anwohner“

© COURTESY NASA/NASA SCIENCE TEAM





Das Bild des Hubble-Teleskops zeigt den durch dunkle Materie bewirkten Gravitationslinseneffekt in einem Galaxienhaufen.

dieser Galaxie – neben Millionen weiterer Sterne, die zu schwach leuchten, um gesehen werden zu können.

Je weiter entfernt ein Stern ist, umso schwächer erscheint sein Licht. Astronomen verwenden das als einen Schlüssel zur Ermittlung der Entfernung zu sehr weit entfernten Sternen. Aber wie weiß man, dass der Stern wirklich weit entfernt ist und nicht einfach nur schwach leuchtet? Dieses Problem wurde 1908 gelöst, als es Henrietta Leavitt gelang, die Leuchtkraft bestimmter pulsierender Sterne anhand ihrer Pulsationsrate zu berechnen. Damit war es möglich, die Entfernungen über die gesamte Milchstraße zu berechnen.

Jenseits unserer eigenen Galaxie liegt ein weiterer Bereich voller Galaxien. Je

tiefer wir in den Raum schauen, umso mehr Galaxien entdecken wir. Es gibt Milliarden! Die fernsten sind so weit weg, dass das Licht, welches heute die Erde erreicht, vor Milliarden von Jahren abgestrahlt wurde. Wir sehen diese Galaxien also nicht, wie sie heute sind, sondern so, wie sie zu einer Zeit aussahen, als es noch kein Leben auf der Erde gab.

Die Entfernung dieser sehr fernen Galaxien festzustellen, ist eine Herausforderung, aber Astronomen können sie bestimmen, indem sie hell explodierende Sterne, sogenannte Supernovae, beobachten. Einige Arten explodierender Sterne haben eine bekannte absolute Helligkeit, daher kann man anhand der Helligkeit, mit der sie erscheinen, berechnen, wie weit

sie und ihre Heimatgalaxien entfernt sind. Man bezeichnet diese Sterne als „Standardkerzen“.

Wie groß ist nun also das Universum? Niemand weiß, ob das Universum unendlich groß ist und ob unseres das einzige Universum ist. Sehr weit entfernte Teile des Universums könnten sich sehr von den uns näher liegenden Bereichen unterscheiden. Zur Zeit der Veröffentlichung dieses Buches schätzen Wissenschaftler die gegenwärtige Größe des ständig expandierenden Universums auf rund 46 Mrd. Lichtjahre. Das ist fast unermesslich groß, und man hat bislang nur einen kleinen Teil beobachtet – nach Schätzungen von Astronomen gerade einmal rund 4% des bekannten Universums.

Moderne Beobachtungsmethoden

Im Jahr 1609 richtete der italienische Physiker und Astronom Galileo Galilei als erster Mensch ein Teleskop gen Himmel. Obwohl das Teleskop klein war und nur unscharfe Bilder lieferte, konnte Galilei Berge und Krater auf dem Mond sowie ein diffuses Lichtband am Himmel ausmachen, die Milchstraße. Nach Galilei und Sir Isaac Newton blühte die Astronomie dank größerer, komplexerer Teleskope auf. Mithilfe verbesserter Technik entdeckten die Astronomen viele lichtschwache Sterne und berechneten Entfernungen. Im 19. Jh. gelang es den Astronomen dank des neu erfundenen Spektroskops, Infor-



© ALEXANDER CASPARI/SHUTTERSTOCK

Heutige Observatorien verwenden Teleskope mit viel größeren Blendenöffnungen, als sie die einfachen Teleskope zu Galileis Zeiten besaßen, aber das Prinzip ist das gleiche geblieben.



Das Hubble-Weltraumteleskop in der Umlaufbahn

mationen über die chemische Zusammensetzung und die Bewegungen der Himmelskörper zu sammeln.

Die Astronomen des 20. Jhs. entwickelten immer größere Teleskope und spezielle Instrumente, mit denen sie in ferne Bereiche von Raum und Zeit spähen konnten. Schließlich war der Punkt erreicht, an dem durch eine Vergrößerung der Teleskope keine besseren Ergebnisse mehr gewonnen werden konnten, weil die Atmosphäre, die das Leben auf Erden ermöglicht, beträchtliche Verzerrungen hervorruft und die Möglichkeiten einschränkt, ferne Himmelsobjekte von der Erde aus deutlich zu beobachten.

Aus diesem Grund träumten die Astronomen auf der ganzen Welt von einem Observatorium im Weltraum – eine Idee, die erstmals in den 1940er-Jahren von dem Astronomen Lyman Spitzer vorgeschlagen wurde. Von einer Position oberhalb der Erdatmosphäre aus könnte ein Teleskop Licht von Sternen, Galaxien und anderen Objekten im Weltraum entdecken, bevor es von der Atmosphäre absorbiert oder verzerrt wird. Die Sicht wäre also viel

schärfer als durch das allergrößte Teleskop auf dem Erdboden.

In den 1970er-Jahren begannen die Europäische Weltraumorganisation (ESA) und die US-amerikanische National Aeronautics and Space Administration (NASA) mit der gemeinsamen Entwicklung des Hubble-Weltraumteleskops. Am 25. April 1990 setzten die fünf Astronauten des Space-Shuttles *Discovery* das Teleskop in einer Umlaufbahn rund 600 km über der Erdoberfläche aus. Die unvergleichlichen Bilder, die das Hubble-Teleskop dann lieferte, waren die Erfüllung eines 50-jährigen Traums und von mehr als 20 Jahren der Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern, Ingenieuren, Unternehmen und Institutionen aus aller Welt.

Seit das Hubble-Teleskop arbeitet, wurde eine Reihe weiterer Weltraumteleskope erfolgreich in die Umlaufbahn gebracht, die die Kenntnisse über das Universum vermehren sollen. Dazu gehört auch das Spitzer-Weltraumteleskop, das nach dem Mann benannt ist, dessen Idee ein neues Zeitalter der Teleskope und der Weltraumbeobachtung einläutete.

Heutige Teleskope

In aller Welt arbeiten Astronomen, Welt- raumwissenschaftler und Astrophysiker, die die Tiefen des Universums erkunden, in einer Reihe wissenschaftlicher Disziplinen wie Physik, Chemie oder Biologie daran, das Wissen über das Universum zu vermehren. Ihre Arbeit basiert zu großen Teilen auf Daten von Teleskopen, die Himmelskörper beobachten. Diese Teleskope stehen teils auf dem Erdboden, teils befinden sie sich in einer Erdumlaufbahn.

Die Teleskope auf der Erde finden sich in der Regel an Orten, die bestimmte Beobachtungsbedingungen erfüllen. Grob gesagt, handelt es sich dabei um Standorte mit guter Luftqualität und geringer Lichtverschmutzung, häufig in großer Höhe, wo die Auswirkungen der Atmo-



© LISSANDRA MELO/SHUTTERSTOCK



© CHEUCURU/SHUTTERSTOCK

Amateur-Astronomen können mit dem Zeiss-Teleskop des Griffith Observatory in Kalifornien den Blick in den Himmel richten.



Lowell Observatory, Arizona



sphäre auf die Beobachtungen weniger groß sind. In aller Regel sind die Spitzenobservatorien der Erde auf Bergen, in Wüsten und/oder auf Inseln zu finden – manchmal trifft auch alles gleichzeitig zu. Bekannte Standorte mit mehreren Teleskopen auf der Erde sind u. a. der Mauna Kea auf Hawaii, die chilenische Atacama-Wüste und die Kanarischen Inseln.

Weltraumteleskope befinden sich, wie die Bezeichnung schon verrät, außerhalb der Erdatmosphäre in Umlaufbahnen um die Erde. Aus diesem Grund können sie oft viel besser – weil von der Erdatmosphäre unbeeinträchtigt – Bilder von Himmelsobjekten in großer Auflösung einfangen. Zu den bekanntesten Weltraumteleskopen zählen das Hubble- und das Spitzer-Weltraumteleskop, die beide vom Jet Propulsion Lab (JPL) der NASA in Kalifornien betrieben werden. Weitere Weltraumteleskope sind der Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) und das James-Webb-Weltraumteleskop, das 2021 gestartet werden und das Hubble-Weltraumteleskop ablösen soll.

Verschiedene Teleskope

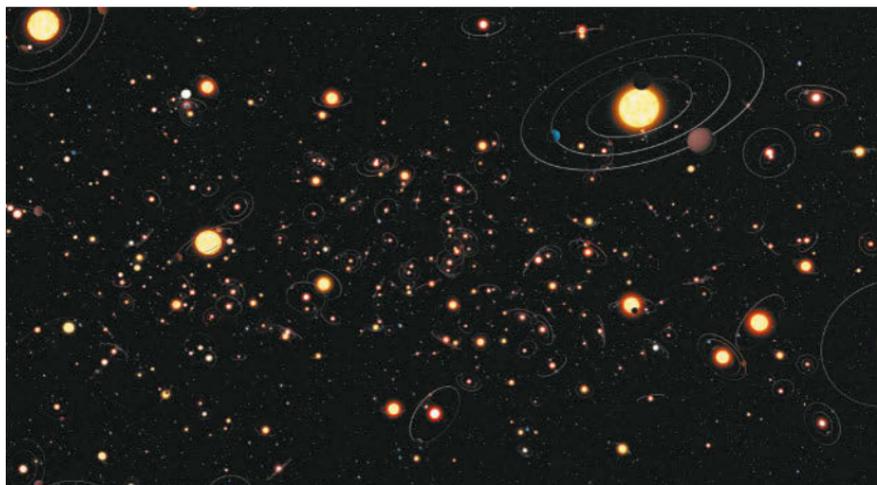
Astronomen gewinnen Erkenntnisse, indem sie das gesamte Frequenzspektrum des Lichts betrachten. Dies geschieht mit optischen und Radioteleskopen. Die Instrumente zur Datensammlung kammern das ganze elektromagnetische Spektrum durch. Sichtbare Lichtstrahlen (das, was man sieht, wenn man mit bloßem Auge zu den Sternen blickt) sind nur ein kleiner Teil dieses Spektrums: Auch Radiowellen, Infrarot-, Ultraviolett-, Röntgen- und Gammastrahlung werden untersucht, um Informationen über weit entfernte Objekte zu gewinnen.

Die Observatorien auf der Erde konzentrieren sich häufig auf Radiowellen, die mit Antennen aufgefangen werden können, sowie auf sichtbares und infrarotes Licht, das von großen optischen Teleskopen empfangen wird. Die Technik der Spektroskopie kann genutzt werden, um die Informationen in dieser Strahlung aufzuschlüsseln. Andere elektromagnetische Wellen wie Röntgenstrahlung lassen sich besser im Weltraum empfangen. Sie werden daher von den Teleskopen in der Erdumlaufbahn gemessen.

Anleitung zur Benutzung dieses Buchs

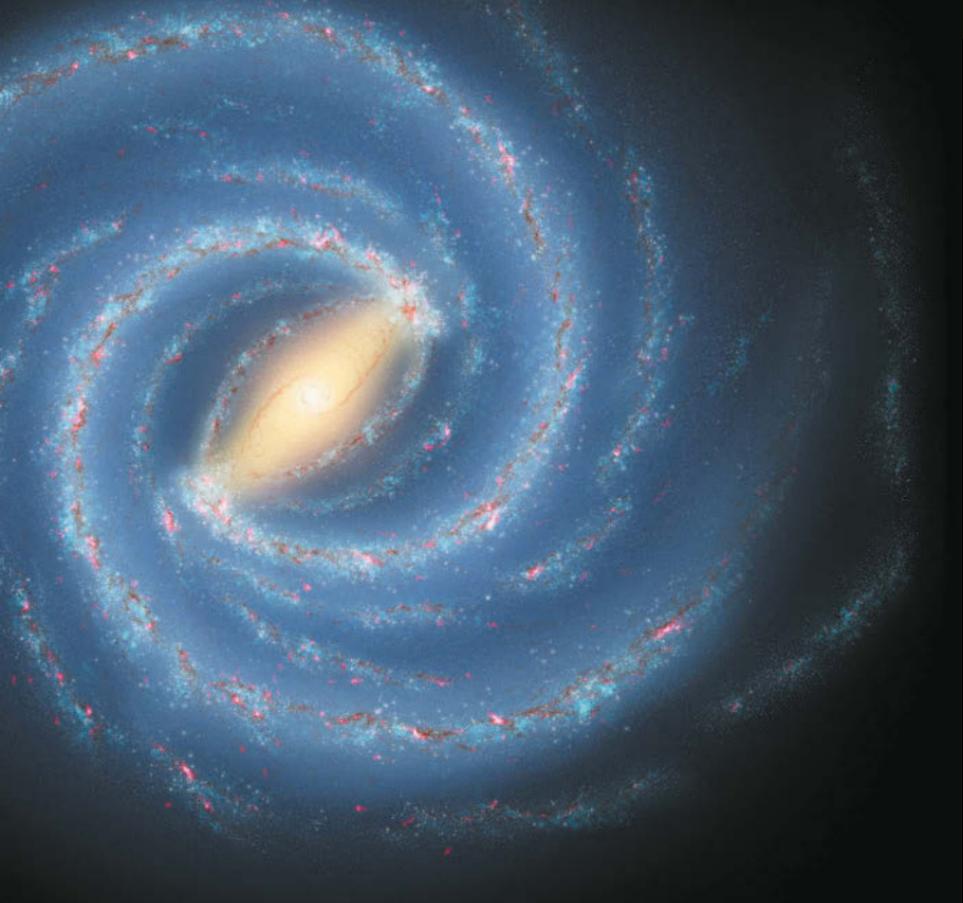
In diesem Buch geht es um etwas sehr Großes, entsprechend umfangreich ist es – und dabei notwendigerweise genauso unvollständig wie unser Wissen über das Universum. Astronomen erforschen nach wie vor mit sich ständig verbessernder Technologie das Universum und decken zuvor unbekannte Geheimnisse und Wunder auf. Leser erfahren in diesem Buch sicher allerhand, was sie noch nicht wussten, und sollen zu Fragen und Hypothesen hinsichtlich dessen, was als Nächstes entdeckt wird, angeregt werden.

Das Buch ist so aufgebaut, dass es thematisch von unserer Heimat, der Erde, weg in die Weiten des Sonnensystems führt, dann zu benachbarten Sternen und Planetensystemen und schließlich hinaus in die übrige Galaxie und das ganze Universum. Es werden sorgfältig ausgewählte Beispiele bekannter Exoplaneten, Sterne, Nebel und Galaxien sowie noch exotische-



© COURTESY NASA, ESA, AND A. KOHNESER (ESO)

Diese künstlerische Darstellung gibt einen Eindruck davon, wie zahlreich Planeten sind, die die Sterne innerhalb der Milchstraße umkreisen.



Künstlerische Darstellung der Milchstraßengalaxie

re Objekte im fernen Raum vorgestellt. Das Buch erläutert, was wir über unsere Nachbarn im All und unseren Platz darin wissen. Außer um die Planeten und Monde geht es um die Sonne, den Asteroiden- und den Kuipergürtel und darum, was sich jenseits davon im interstellaren Raum befindet.

Außerhalb des Sonnensystems deckt dieses Buch einige bemerkenswerte benachbarte Sterne, Sternsysteme und einige Exoplaneten ab, die entdeckt wurden. Man erfährt, wie nach Planeten gesucht wird, auf denen Leben existieren könnte, und nach den Sternen, um die diese Planeten kreisen. Manche liegen innerhalb der Milchstraße, andere lassen sich von der Erde aus beobachten, obwohl sie sich weit außerhalb der Grenzen unserer Galaxie befinden.

Im letzten Abschnitt des Buches steht der Rand jenes Teils des Universums im Fokus, den man mit heute verfügbaren Technologien beobachten kann. Es geht um die Struktur der Milchstraße und um Nachbargalaxien wie die Andromedagalaxie, die von der Erde aus sichtbar ist. Die Reise wird fortgesetzt zu anderen galaktischen Formationen und zu Galaxienhaufen und Supergalaxienhaufen. Am Ende des Buches hat man einen Eindruck von der Struktur des gesamten Universums und von einigen der großen Fragen erhalten, die sich noch immer stellen. Natürlich helfen die Informationen über Planeten, Monde, Exoplaneten und faszinierende Nebel nicht bei der Planung des nächsten Urlaubs – dafür hat man bei der Lektüre dieses Buches jedoch reichlich Gelegenheit zum Staunen.

Namens- gebung

In diesem Buch werden Objekte beschrieben, die verschiedene Namen und Bezeichnungen tragen. Einige kennt man, andere wirken wie in einer Geheimsprache verschlüsselt. Die Benennung von Himmelserscheinungen war lange ein kontroverses Thema. Bei ihrer ersten Versammlung 1922 in Rom normierte die Internationale Astronomische Union (IAU) die Namen und Abkürzungen für 88 Sternbilder. Mehr als die Hälfte der Namen geht auf Ptolemäus zurück, die übrigen wurden später hinzugefügt. Auch für andere astronomische Objekte legte die IAU Namen fest, diese setzen sich aber im allgemeinen Sprachgebrauch nicht immer sofort durch.

Weitere Komplikationen erwachsen aus den Unterschieden zwischen dem Namen ei-



Porträt des Astronomen Charles Messier



© GIULIO ERCOLANI/ALAMY STOCK PHOTO



Darstellung des Sternbilds
Andromeda von 1661

© SCIENCE HISTORY IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO

© OL. ARCHIE/ALAMY STOCK PHOTO



Helixnebel, auch bezeichnet als NGC 7293

nes Objekts und seiner offiziellen Bezeichnung. Der Name eines Himmelskörpers wird im Allgemeinen alltagssprachlich verwendet, die offizielle Bezeichnung hingegen ist alphanumerisch und wird fast ausschließlich in offiziellen Sternenkatalogen und im Wissenschaftsbereich gebraucht.

Die Katalogisierung der Sterne hat eine lange Geschichte. Seit der Vorgeschichte haben Zivilisationen in aller Welt den hellsten Sternen am Himmel Namen gegeben. Als sich im Lauf der Jahrhunderte die Astronomie entwickelte, entstand das Bedürfnis nach einem verbindlichen System, nach dem die Sterne einheitlich bezeichnet werden konnten, ungeachtet dessen, aus welchem Land die Astronomen stammten.

Um dieses Problem zu lösen, versuchten die Astronomen der Renaissance, nach bestimmten Regeln erarbeitete Sternenkataloge und Himmelsatlanten zu verfassen. Das früheste bekannte Beispiel ist die *Uranometria* Johann Bayers aus dem Jahr 1603. Bayer benannte die Sterne in jedem Sternbild mit griechischen Kleinbuchstaben in der ungefähren Reihenfolge ihrer (scheinbaren) Helligkeit, gefolgt vom Ge-

nitiv des lateinischen Namens des Sternbilds (z. B. α Tauri).

Mehr als 100 Jahre nach der Einführung der Bayer-Bezeichnungen mit griechischen Kleinbuchstaben kam ein weiteres bekanntes System auf, die nach dem ersten britischen Hofastronomen John Flamsteed benannten Flamsteed-Bezeichnungen. Hierbei wurden die sichtbaren Sterne jedes Sternbilds in der Reihenfolge ihrer Rektaszension nummeriert, wiederum gefolgt vom Genitiv des lateinischen Sternbildnamens (z. B. 61 Cygni). Weitere Bezeichnungsschemata für helle Sterne wurden verwendet, fanden aber nicht den gleichen Grad an Akzeptanz, etwa das Schema des Amerikaners Benjamin Gould von 1879. Heute werden nur noch wenige Sterne gelegentlich mit der Gould-Bezeichnung benannt (z. B. 38G Puppis).

Die Sterne, die in neuerer Zeit entdeckt wurden, leuchten schwächer als die unter der Bayer- oder der Flamsteed-Bezeichnung katalogisierten, sie konnten auch nur mithilfe leistungsstärkerer Teleskope bestimmt werden. Wenn Astronomen neue Sterne entdecken, versehen sie sie mit einer alphanumerischen Bezeichnung. Das ist praktisch, weil Sternenkataloge Milliarden Objekte verzeichnen. Es gibt besondere Regeln für Doppel- und Mehrfachsterne, veränderliche Sterne, Novae und Supernovae. All diese Ansätze bauen auf dem ersten derartigen System auf, Messiers 1771 veröffentlichtem Katalog von Objekten am Himmel, die keine Sterne, Planeten oder Kometen sind und seinerzeit „Nebel“ genannt wurden. Der 1888 veröffentlichte New General Catalogue (NGC) von John Louis Emil Dreyer fügte die klassifizierten Objekte hinzu, die die Mitglieder der Familie Herschel entdeckt hatten, von Sternenhaufen und Nebeln bis hin zu Galaxien. Die Präfixe „M“ und „NGC“ bezeichnen Objekte aus den beiden Katalogen, und viele Objekte im All tragen sowohl Zahlen als auch einen Namen.

In diesem Buch wird sowohl der Name als auch die offizielle Katalogbezeichnung verwendet. Wird nur Letztere genannt, bedeutet dies, dass das Objekt keinen anderen Namen hat. Mit diesem Wissen steht einer Entdeckungsreise nichts mehr im Weg, ob nun erst einmal in die nähere Umgebung der Erde oder gleich tief ins All.

Highlights

Die Sonne

1 Im Universum mag die Sonne weder etwas Einmaliges noch etwas Besonderes sein, doch für Erdbewohner ist sie äußerst wichtig. Dieses Buch informiert über die Sonne und über das, was unterhalb ihrer Korona geschieht. Außerdem beleuchtet es die aktuellen Forschungen zu dem Stern, von dem das Leben auf der Erde abhängt.

Mars – vielleicht unsere nächste Heimat?

2 Erdnachbar Mars steht im Zentrum der Hoffnungen auf einen Lebensraum außerhalb der

Erde. Es lohnt sich, zu ergründen, warum der Mars ein so faszinierendes Ziel für die Menschheit ist und warum er sich von einem Zustand, der vielleicht einst erdähnlich war, zu dem Planeten gewandelt hat, der er heute ist.

Andere Objekte im Sonnensystem

3 Auch der bekannte Pluto und andere oft übersehene Zwergplaneten sind einen näheren Blick wert, ebenso die Asteroiden und Kometen unseres Sonnensystems. Denn hierin befinden sich neben der Sonne, den acht Planeten



© COURTESY NASA/JPL CALTECH/MSSS

Der Rover Curiosity bei der Namib-Düne auf dem Mars



Koloriertes Bild der Balkenspiralgalaxie NGC 1672; in ihren Armen entstehen neue Sterne.

und den 193 bekannten Monden noch unzählige andere Objekte.

Erdähnliche Exoplaneten

4 Tief im Universum finden sich Planetensysteme wie TRAPPIST-1 oder Kepler-22, deren Zentralgestirne von Exoplaneten im Bereich der „habitablen Zone“ umkreist werden. Wissenschaftler glauben, dass auf einigen dieser Exoplaneten ähnliche Bedingungen wie auf der Erde herrschen könnten – Bedingungen, die einst die Entwicklung von Leben ermöglichen.

Der nächstgelegene Stern

5 Proxima Centauri ist der Stern, der der Sonne mit gerade einmal

4,243 Lichtjahren Entfernung am nächsten ist. Mit seinen Nachbarsternen Alpha Centauri und Beta Centauri und einem möglicherweise erdähnlichen Exoplaneten ist Proxima Centauri ein gutes Beispiel für die Vielfalt der Planetensysteme innerhalb der Galaxis.

Supernovae & Quasare mit Schwarzen Löchern

6 Es gibt noch mehr Arten von Sternen als den Gelben Zwerg, mit dem Erdbewohner am besten vertraut sind (weil die Sonne einer ist). Spektakuläre Explosionen wie Keplers Supernova hinterlassen fantastische Nebel. ULAS J1120+0641 ist ein ferner Quasar, dessen supermassereiches Schwarzes Loch

eine intensive Strahlung emittiert.

Die Milchstraße

7 Das Sonnensystem hat seinen Platz im Orionarm der spiralförmigen Milchstraßengalaxie. Aus dieser Perspektive betrachtet, wird begreifbar, welche Teile der Galaxis sichtbar sind und was für Geheimnisse sie noch imberbirgt.

Interaktionen der Galaxien

8 Bei noch weiterer Perspektive zeigen sich die Unterschiede der verschiedenen galaktischen Formationen im Universum. An der Spitze stehen gewaltige Haufen aus Tausenden durch die Gravitation miteinander verbundenen Galaxien.



© COURTESY NASA/JET PROPULSION LABORATORY/CALTECH

SONNENSYSTEM



Highlights

Leben auf der Erde

1 Unser Universum ist voller Wunder, und das größte davon ist uns am nächsten. Soweit wir derzeit wissen, ist die Erde der einzige Himmelskörper auf dem sich Leben in den unterschiedlichsten Formen und Arten entwickelt hat. So ist die größte Erkenntnis einer Reise ins Universum die, dass die Erde ein besonderer Planet ist.

Den „Aufgang der Erde“ vom Mond aus beobachten

2 Es gibt jede Menge beeindruckender Weltraumbilder, doch nur wenige sind so bewegend wie der Anblick des „Aufgangs der Erde“ – der Augenblick, in dem unser Planet am Horizont des Mondes auftaucht. Dann erscheint die blaue Erdkugel inmitten der Schwärze des Weltalls wie ein – sehr fragiles – Wunder.

Auf Armstrongs Spuren

3 Jedes Kind weiß mittlerweile, dass die Raumfähre von Apollo 11 im Mare Tranquillitatis (Meer der Ruhe) landete, und dass dort Neil Armstrong und Buzz Aldrin „ein kleiner Schritt für einen Menschen, aber ein großer Schritt für die Menschheit“ gelang. Aufgrund der fehlenden Atmosphäre auf dem Mond werden die Fußabdrücke der ersten Menschen auf dem Mond für immer erhalten bleiben – unglaublich, oder?

Den Olympus Mons auf dem Mars besteigen

4 Mit der dreifachen Höhe des Mount Everest und einer Ausdehnung von der Größe Arizonas ist der Olympus Mons der größte Vulkan auf dem Mars und wohl auch der größte des Sonnensystems. Dabei ist er nicht besonders steil. Die Steigung beträgt gerade einmal 5% und wäre ohne große Anstrengung zu bewältigen. So könnte die Besteigung des Vulkans eines Tages das Highlight jeder Reise zum Mars werden.

In den Valles Marineris des Mars wandern

5 Der Grand Canyon ist zwar groß, aber lange nicht so groß wie dieses gigantische Tal auf dem Mars. Es ist gut fünfmal so

lang wie der Grand Canyon und viermal so tief. Damit erstreckt es sich über ein Fünftel des Marsumfangs. Das Tal ist die größte Schlucht des Sonnensystems. Die Wanderung unterhalb seiner rotbraunen Klippen wird ein unvergessliches Erlebnis sein.

Den stürmischen Großen Roten Fleck des Jupiters erleben

6 Selbst die stärksten Stürme und Tornados der Erde sind nichts im Vergleich zum Großen Roten Fleck des Jupiters. Der gigantische Sturm tobt seit Jahrhunderten, und ein Ende ist nicht in Sicht. Tatsächlich ist der Fleck rund doppelt so groß wie die Erde.

Durch die Ringe des Saturns schweben

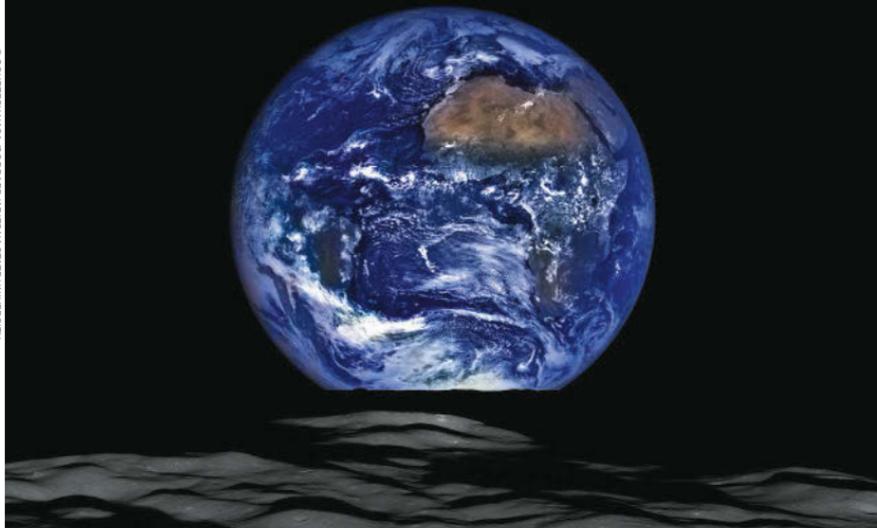
7 Die sieben gut sichtbaren Ringe des Saturns sind eines der größten Spektakel des Sonnensystems. Die Ringe sind bis zu 282 000 km von dem Planeten entfernt und bestehen aus Eis, Felsgestein sowie Staub. Von der Erde aus sind sie schon mit einem guten Fernglas zu sehen. Wie unglaublich muss ihr Anblick dann erst aus einem vorbeischwebenden Raumschiff sein!

Einen Sonnenbrand auf dem Merkur bekommen

8 Der gleißend helle Planet ist der kleinste des Sonnensystems und der Sonne am nächsten. Deshalb eignet er sich auch kaum für einen längeren Aufenthalt. Das Licht der Sonne ist hier elfmal so hell wie auf der Erde, und tagsüber ist es so heiß wie in einem Backofen. Wer also richtig braun werden möchte, sollte Urlaub auf dem Merkur machen.

Auf der Venus einen umgekehrten Sonnenaufgang sehen

9 Trotz des verlockend schönen Namens ist die Venus ein äußerst unwirtlicher Planet. Der enorme Treibhauseffekt erzeugt eine höllisch heiße Atmosphäre, in der selbst Blei schmelzen würde – für einen Aufenthalt nicht wirklich zu empfehlen. Doch es gibt zumindest einen Grund für die Reise zur Venus: Aufgrund ihrer der Erde



Aufgang der Erde vom Mond aus gesehen

entgegengesetzten Rotation scheint die Sonne hier im Westen auf- und im Osten unterzugehen.

Die faszinierende Aurora des Uranus beobachten

10 Genau wie auf der Erde gibt es auch auf dem Uranus Polarlichter. Verursacht werden die spektakulären Lichteffekte von elektrisch geladenen Teilchen, die mit den Gasen in der Atmosphäre des Planeten interagieren. Viele Wissenschaftler glauben aber, dass diese Aurora wesentlich spektakulärer ist als die Polarlichter der Erde, denn das Magnetfeld des Uranus ist äußerst ungewöhnlich geformt und der Planet dreht sich zudem quasi liegend um die Sonne.

Von den Wirbeln des Neptuns aufgesaugt werden

11 Wie der Jupiter ist auch der Neptun ein „Gasriese“ mit einer Atmosphäre aus Wasserstoff, Helium und Methan. In dieser stürmischen Atmosphäre toben gewaltige Zyklone. Dabei können um ein Vielfaches höhere Windgeschwindigkeiten als auf der Erde erreicht werden, in Einzelfällen bis zu 2400 km/h. Einer dieser Wirbelstürme war 1989 von der Raumsonde Voyager 2 entdeckt und „Großer Dunkler Fleck“ getauft worden. Obwohl er bis 1994 wieder verschwunden war, wurden seitdem viele weitere derartige Zyklone entdeckt.

Im verborgenen Ozean von Europa abtauchen

12 Von allen Monden unseres Sonnensystems könnte der Europa der Erde am ähnlichsten sein. Unter der eisigen Oberfläche des MONDS vermutet man ein riesiges Salzwassermeer mit vulkanischen oder hydrothermalen Strömungen. Damit würden hier die gleichen Bedingungen wie auf der Erde herrschen, als das Leben auf ihr seinen Anfang nahm.

Die gigantischen Eisgeysire des Enceladus bewundern

13 Der Enceladus ist zwar nur der sechstgrößte Mond des Saturns, doch in vielerlei Hinsicht der interessanteste. Das hellste Objekt des Sonnensystems ist von einer dicken Eisschicht umgeben – die Temperatur auf seiner Oberfläche beträgt -201°C ! Weitere Merkmale sind die gewaltigen, geheimnisvollen Eisgeysire, die am Südpol ständig aus dem Boden schießen.

Die Lavaströme auf dem Io beobachten

14 Bisher wurden mehr als 150 Vulkane auf dem winzigen Mond Io entdeckt – wahrscheinlich gibt es aber noch viel mehr. Der von den Gravitationskräften des Jupiters durchgeknetete Mond ist das geologisch aktivste Objekt des Sonnensystems und ein Muss für alle Vulkanologen.

Wie wär's mit...

© COURTESY NASA/JRIS



Auf dem aus Einzelbildern zusammengesetzten Mars-panorama sind die Valles Marineris gut zu erkennen.

WUNDER DER GEOLOGIE

Mount Everest Mit 8848 m ist der Everest der höchste Berg der Erde.

Valles Marineris, Mars Das gewaltige, 4000 km lange Tal auf dem Mars ist mehr als viermal so tief wie der Grand Canyon.

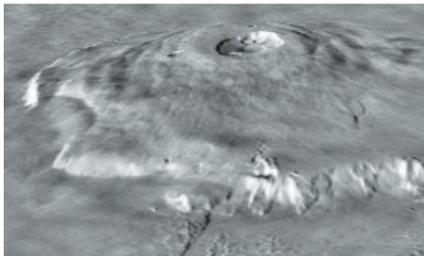
Verona Rupes Die mehr als 10 km hoch aufragenden Steilwände auf dem Uranusmond Miranda gehören zu den höchsten Klippen des Sonnensystems.

Caloris-Becken, Merkur Das riesige Becken mit einem Durchmesser von 1545 km entstand durch einen Meteoriteneinschlag.

Enceladus Am Südpol dieses Saturnmondes schießen spektakuläre Eisgeysire aus dem Boden.

Die Methanseen des Titans Der Saturnmond Titan ist vermutlich voller Seen und Flüsse aus flüssigem Methan.

© COURTESY NASA/MOLA SCIENCE TEAM



Der Olympus Mons auf dem Mars.

VULKANE

Kilauea Einer der aktivsten Vulkane der Erde befindet sich auf der Hawaii-Insel Big Island.

Olympus Mons, Mars Der schlafende Riese ist der größte Vulkan (und Berg) unseres

Sonnensystems. Er ist unglaubliche 22 km hoch und hat einen Durchmesser von 600 km.

Überall auf Io Auf dem Jupitermond stehen Hunderte von aktiven Vulkanen zur Auswahl.

Maat Mons, Venus Der gewaltige, 8 km hohe Schildvulkan ist der zweithöchste Berg der Venus.

Triton Neben Venus, Io und der Erde gibt es auf dem Neptunmond Triton die meisten aktiven Vulkane.

Titan Die „Kryovulkane“ des Saturnmonds spucken kein Feuer, sondern Eis.



© FETTE SEAMROB/LOVELY PLANET

Treibeis in der Wilhemina Bay

EIS

Antarktis Im Eiskontinent der Erde sind etwa 90 % des Süßwassers unseres Planeten gespeichert.

Uranus Die Oberfläche eines der beiden „Eisriesen“ des Sonnensystems besteht aus flüssigen Eiswirbeln.

Neptun ist der zweite Eisriesen im Sonnensystem. Er besteht zu mehr als 80 % aus einem flüssigen Gemisch aus Eiswasser, Methan und Ammoniak.

Ganymed Der Jupitermond Ganymed ist der größte Mond unseres Sonnensystems. Seine Eishülle ist von Bergrücken und Furchen, den sogenannten Sulci, durchzogen.

Europa Der Jupitermond ist vollständig von einer Hülle aus Eis umgeben. Darunter befindet sich ein riesiger, geheimnisvoller Ozean.

Triton Die Eisvulkane des Tritons spucken flüssigen Stickstoff, Methan und eine Art Staub aus, der als Schnee auf den Neptunmond niedergeht.



Blick aus dem Weltall auf den Indischen Ozean

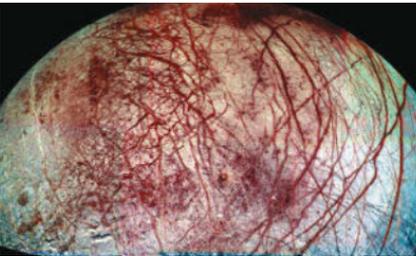
MEERE & OZEANE

Erde Die Erdoberfläche ist zu erstaunlichen 70 % von Meerwasser bedeckt.

Europa Der Ozean unter der eisigen Oberfläche des Mondes ist ca. 60–150 km tief.

Titan Die Oberfläche des Titans ist von riesigen Meeren aus Methan bedeckt – die bestimmte Formen des Lebens enthalten könnten.

Callisto Wie auf seinem Brudermond Europa befindet sich unter der eisigen Oberfläche des Callistos wahrscheinlich ein Ozean mit Salzwasser.



Die eisige Oberfläche Europas ist von Rissen durchzogen.

MERKWÜRDIGE LANDSCHAFTEN

Utopia Planitia, Mars Der riesige Krater mit einem Durchmesser von 3300 km ist der größte des Sonnensystems.

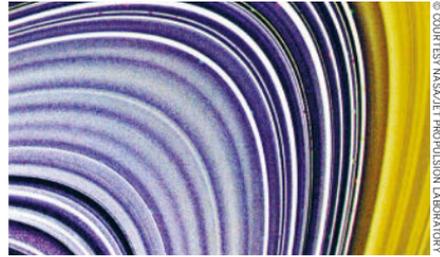
Die Runzeln des Europas Die Oberfläche des frostigen Jupitermonds ist über und über bedeckt mit riesigen Furchen, Wülsten und Spalten, die teilweise Hunderte von Kilometern lang sind.

Yin und Yang auf dem Iapetus Der Saturnmond ist äußerst ungewöhnlich, denn die eine Hälfte ist schwarz, die andere weiß.

Die Canyons Mirandas Die stark zerfurchte Oberfläche des Uranusmonds ist von gewaltigen Canyons durchzogen, die teilweise zwölfmal so tief wie der Grand Canyon sind.

Der „Todesstern“-Mond Dank eines riesigen Meteoritenkraters ähnelt der Saturnmond Mimas Darth Vaders Raumstation.

Der Eisberg von Ceres Ein Berg aus Eis ragt einsam aus der Oberfläche des Zwergplaneten Ceres heraus.



Der C-Ring des Saturns ist nur einer von vielen.

RINGE

Saturn Die sieben großen Ringe des Saturns sind mehrere Tausend Kilometer lang, aber nur rund 10 m dick.

Uranus Neben dem Saturn hat der Uranus die eindrucksvollsten Ringe: Insgesamt 13, die sich in drei voneinander getrennten Bereichen befinden.

Neptun Die Ringe des Neptuns sind so dünn, dass sie praktisch unsichtbar sind.



Der Große Rote Fleck auf dem Jupiter ist der (unerreichbare) Traum eines jedes „Sturmjägers“.

STÜRME

Tornado Alley, Erde Dieser Landstrich im Süden der USA wird von den stärksten Stürmen der Erde heimgesucht.

Der Große Rote Fleck, Jupiter Dagegen sind die Stürme auf dem Jupiter von einer ganz anderen Kategorie: teilweise sind sie so groß, dass sie einen ganzen Planeten verschlingen könnten.

Die Zyklobe des Neptuns Wie auf dem Jupiter toben auch auf dem Neptun wahrlich apokalyptische Winde und Stürme.

Durchgänge & Finsternisse

Von der Erde aus betrachtet ist das Sonnensystem nicht ganz einfach zu verstehen. Wir glauben, ganz ruhig in einer festen Position im Weltall zu stehen – obwohl wir tatsächlich mit einer Geschwindigkeit von mehreren Tausend Kilometern pro Stunde zwischen anderen Planeten rund um die Sonne kreisen. Aufgrund der großen Entfernungen und Geschwindigkeiten ist es nicht einfach zu erkennen, dass sich auch die Positionen der anderen Sterne und Planeten ständig verändern. Deshalb erscheint auch der Nachthimmel immer ein bisschen anders.

Es gibt jedoch Ereignisse, bei denen uns auch auf der Erde die ständigen Bewegungen innerhalb des Sonnensystems deutlich vor Augen geführt werden: Bei Finsternissen können wir die Bewegungen anderer Himmelskörper sehr gut beobachten.

Von diesem spektakulären Phänomen gibt es zwei Arten, die Mond- und die Sonnenfinsternis. Bei einer Mondfinsternis schiebt sich die Erde zwischen die Sonne und den Mond. Die Erde verdeckt die Sonne und wirft ihren Schatten auf die Oberfläche des Mondes. Eine Mondfinsternis kann partiell sein, sodass nur ein Teil des Erdschattens auf den Mond fällt, oder total, wenn der Mond, die Erde und die Sonne genau in einer Linie stehen und der Erdschatten den Mond komplett bedeckt. Bei einer totalen Mondfinsternis



©AMOSJURE PHOTOS/SHUTTERSTOCK

Totale Sonnenfinsternis

dringt der blaue Anteil des Sonnenlichts nicht mehr durch die Erdatmosphäre, sodass der Mond blutrot erscheint. Eine totale Mondfinsternis ist selten, doch mindestens zweimal jährlich kommt es zu einer partiellen Mondfinsternis, die jeweils mehrere Stunden andauert.

Wesentlich spektakulärer ist eine Sonnenfinsternis. Dabei schiebt sich der Mond zwischen die Sonne und die Erde. Auch eine Sonnenfinsternis kann partiell oder total sein. Bei einer partiellen Sonnenfinsternis stehen Sonne, Mond und Erde nicht exakt in einer Linie, sodass nur ein Teil der Sonne vom Mond verdeckt wird.

Bei einer totalen Sonnenfinsternis schiebt sich der Mond direkt vor die Sonne, sodass sie von der Erde aus nicht mehr zu sehen ist. Der

Mond erscheint zunächst sichelförmig auf der Sonnenscheibe, schiebt sich dann komplett vor die Sonne und verdunkelt sie bis auf einen schmalen Lichtring, die Korona. Wo der Mondschatten auf die Erde fällt, verdunkelt sich der Himmel und es wird mitten am Tag dunkel. Eine totale Sonnenfinsternis ist immer nur von einem kleinen Teil der Erde aus zu sehen. Dort, wo der Kernschatten (Umbrä) des Mondes auf die Erde fällt, ist die totale Finsternis zu beobachten. Außerhalb dieses Bereichs (Penumbra) ist nur eine partielle Sonnenfinsternis zu sehen. Im Gegensatz zu einer Mondfinsternis dauert eine Sonnenfinsternis nur wenige Minuten.

Außerdem gibt es noch das Phänomen der ringförmigen Sonnenfinsternis. Sie kann entstehen, wenn der

Mond am weitesten von der Erde entfernt ist. Dann ist die scheinbare Größe der Mondscheibe kleiner als die der Sonne, wodurch sie diese nicht ganz bedeckt. Der Mond scheint wie eine kleine dunkle Scheibe auf der großen Sonnenscheibe zu liegen und ist von einem hellen Ring umgeben.

Finsternisse entstehen aber nicht nur im Zusammenspiel von Erde, Mond und Sonne. Das gleiche Phänomen tritt als „Durchgang“ (oft auch Transit genannt) ebenso bei anderen Planeten und Monden auf. Genau wie bei einer Finsternis schiebt sich bei einem Durchgang ein Himmelskörper an einem anderen vorbei. Dabei erscheint der vordere Körper aber nicht groß genug, um den hinteren völlig zu verdecken. Stattdessen schiebt sich nur ein kleiner dunkler Schatten vor dem weiter entfernten Planet oder Stern vorbei. Ein solches Ereignis kann z. B. mit einem Teleskop gelegentlich von der Erde aus oder mithilfe eines Satelliten beobachtet werden.

2012 schob sich z. B. die Venus an der Sonne vorbei. Im Laufe unserer Geschichte konnten schon mehrere Venusdurchgänge beobachtet, obwohl sie selten auftreten: nur alle ca. 120 Jahre kommt es zu jeweils zwei Durchgängen der Venus mit etwa 8 Jahren Abstand voneinander.

Die einzigen Durchgänge, die wir von der Erde aus beobachten können, sind die der Venus und des Merkurs. Die nächsten Durchgänge des Merkurs werden am 13. November 2032 und am 7. November 2039 stattfin-

den. Die nächsten Durchgänge der Venus erst am 11. Dezember 2117 und 8. Dezember 2125 – also nicht mehr zu unseren Lebzeiten.

Die vielleicht berühmteste Beobachtung eines Venusdurchgangs fand im Rahmen der Expedition von James Cook zum Pazifik 1769 statt. Cook sollte dabei den Durchgang von der neu entdeckten Insel Tahiti aus beobachten. Die damaligen Astronomen hofften, mit Cooks Daten endlich die Größe des Sonnensystems berechnen zu können. Doch nachdem Cook den Durchgang beobachtet hatte, erhielt er einen anderen Auftrag: Er sollte das sagenhafte „Terra Australis Incognita“, das unbekannte Land am südlichen Rand des Pazifiks finden. Leider konnte er es aber nicht finden, weil es dieses „südliche Land“ gar nicht gab. Stattdessen entdeckte er Australien und Neuseeland...

Heute ist die Beobachtung dieser Phänomene viel einfacher – vor allem die von Sonnenfinsternissen: Die nächste (ringförmige) Sonnenfinsternis wird am 21. Juni 2020 in Afrika und Teilen Europas zu sehen sein. Danach folgen u. a. Finsternisse in der Antarktis (4. Dezember 2021) in Westaustralien und Westpapua (20. April 2023), in Nordamerika (8. April 2024) und über Teilen Europas (12. August 2026). Obwohl viele dieser Finsternisse nur in einem kleinen Teil der Erde beobachtet werden können, lohnt sich die Reise zu einer totalen Sonnenfinsternis immer. Eine Mondfinsternis ist dagegen öfter und leichter zu beobachten.

Warum sich die NASA für Finsternisse interessiert

Als die Menschen vor Hunderten von Jahren eine Mondfinsternis beobachteten, schlossen sie daraus, dass die Erde eine Kugel ist. Selbst heute ziehen Wissenschaftler noch wichtige Schlüsse aus einer Mondfinsternis. So wurde im Dezember 2011 mithilfe des Lunar Reconnaissance Orbiter der NASA geklärt, wie schnell sich die Tagseite des Mondes (also die ständig der Erde zugewandte Seite) während einer Mondfinsternis abkühlt. Auf dieser Grundlage konnte die NASA die Beschaffenheit der Mondoberfläche ermitteln. Da eine ebene Oberfläche im Vergleich zu einer rauen schneller abkühlt, fanden die Wissenschaftler heraus, welche Bereiche des Mondes eine raue, felsige Oberfläche haben und welche eben sind.

Die NASA erforscht aber auch Sonnenfinsternisse. Sie ermöglichen den Wissenschaftlern wichtige Rückschlüsse auf die Korona (äußerste Atmosphärenschicht) der Sonne. Während ringförmiger Sonnenfinsternisse beobachtet die NASA daher mithilfe von Instrumenten auf der Erde und im Weltraum die Korona, wenn der Mond die Sonne verdeckt.



Die Planeten des Sonnensystems

Verglichen mit den 4,5 Mrd. Jahren seit der Entstehung des Sonnensystems gibt es den Menschen erst seit sehr kurzer Zeit. Und die Erforschung der Erdnachbarn im Sonnensystem hat praktisch gerade erst angefangen.



Künstlerische Darstellung der Planeten (plus Pluto) aus der Erdspektive

Schon seit den Megalithkulturen vor 10000 bis 11000 Jahren zeichnen die Menschen den Lauf von Sonne und Mond auf. Die Sumerer hatten bereits einen Mondkalender. In den folgenden Jahrhunderten machten Himmelsforscher auf der ganzen Welt mit einfachsten Mitteln erstaunliche Entdeckungen. Alle waren getrieben von unbändigem Forschergeist, und manche besaßen ein ausgeprägtes mathematisches Verständnis. Dank der Erfindung des Fernrohrs im 17. Jh. konnten Gelehrte wie

Galileo Galilei Planeten mit eigenen Augen beobachten. Der erste Mensch im Weltraum war 1961 Juri Gagarin. 1969 war Neil Armstrong als erster Mensch auf dem Mond und machte den ersten Schritt eines Menschen auf der Oberfläche eines anderen Himmelskörpers. Doch noch hat kein Mensch einen Fuß auf einen anderen Planeten gesetzt. Im Folgenden ist alles Wissenswerte zu den Planeten des Sonnensystems, geordnet nach ihrer Entfernung zur Sonne, nachzulesen.



Merkur

Namensgeber

Merkur, der geflügelte Götterbote

Größe ist nicht alles

Der kleinste Planet in unserem Sonnensystem liegt zugleich mit 0,4 Astronomischen Einheiten (AE) Abstand der Sonne am nächsten. Er ist ihr so nah, dass das Sonnenlicht auf dem Merkur (je nach Entfernung zur Sonne) sieben- bis elfmal heller ist als auf der Erde. Weil der Merkur aber keine Atmosphäre hat, ist nicht er der heißeste Planet des Sonnensystems, sondern die Venus. Allerdings ist der Merkur der schnellste aller Planeten: Mit einer rasenden Geschwindigkeit von durchschnittlich 170 505 km/h umrundet er auf einer elliptischen Umlaufbahn, deren sonnennächster und sonnenfernster Punkt um 24 Mio. km

differieren, in nur 88 Tagen die Sonne. Insofern ist ein Erdenjahr länger als vier Merkurjahre.

Entdeckungsgeschichte

Der Merkur ist mit bloßem Auge zu erkennen und sieht aus wie ein heller Satellit. Das nicht feststehende Objekt am Himmel kannte man bereits in der Antike. Schon die Griechen definierten den Merkur als Planeten (was bei ihnen aber nicht genau das Gleiche bedeutete), und auch die Babylonier wussten von ihm. 1631 gab es dank der Erfindung des Fernrohrs die ersten Beobachtungen des Merkurs – gleichzeitig durch den englischen Astronomen Thomas Harriot und den italienischen Gelehrten Galileo Galilei. Im selben Jahr wurde auch der Merkurtransit vor der Sonne beobachtet.

Faszinierendes

Merkur gilt zwar als heißer, sich schnell bewegender Himmelskörper, doch neuere Beobachtungen zeigen, dass er ein Planet der Gegensätze ist. So liegt das Innere der tiefen Krater an Merkurs Nord- und Südpol in ständigem Schatten, während überall sonst Temperaturen von bis zu 427°C herrschen. Nach Beobachtungen der MESSENGER-Mission von 2012 könnte es in den Kratern gefrorenes Wasser geben.

Besondere Merkmale

Ein auffälliges Merkmal auf der Oberfläche des Merkurs sind die interessanten Gräben der Pantheon Fossae. Der 40 km große Apollodorus-Krater in der Mitte wurde 2008 während des ersten Vorbeiflugs der Raumsonde MESSENGER entdeckt und liegt in der Caloris Planitia, der „Hitze-Ebene“ im Norden des Merkurs. Das Grabenetz verdankt seinen Namen dem römischen Pantheon, der Krater in der Mitte ist nach Apollodoros von Damaskus benannt, der das Dach des römischen „Tempels aller Götter“ konstruierte. Wie vom Okulus in der Mitte der Rundkuppel das Licht nach allen Seiten ausstrahlt, so scheinen vom Apollodoros-Krater die langen, schmalen Gräben der Pantheon Fossae auszugehen. Die Erscheinung dieser tektonischen Verwerfungslinien trug der gesamten Formation den Spitznamen „Spinne“ ein.

Monde/Ringe

Der kleine Merkur ist ganz allein auf seiner Umlaufbahn um die Sonne, hat also weder Monde noch Ringe.

Mögliche Existenz von Leben

Die Umweltbedingungen auf dem Merkur sind nicht geeignet für Leben in der uns bekannten Form. Der Merkur ist der Hitze der Sonne ausgeliefert und hat keine Atmosphäre, die ihn vor dem Sonnenwind oder Meteoriteneinschlägen schützen könnte. Daher rechnet niemand mit Existenz von Leben auf dem heißen Merkur.

Merkur in der Kultur

Angesichts des weitgehenden Fehlens von genauen Informationen als Ausgangsmaterial beruhte das Erscheinungsbild des Merkurs in der Popkultur auf einer Mischung aus Spekulation und künstlerischer Freiheit.

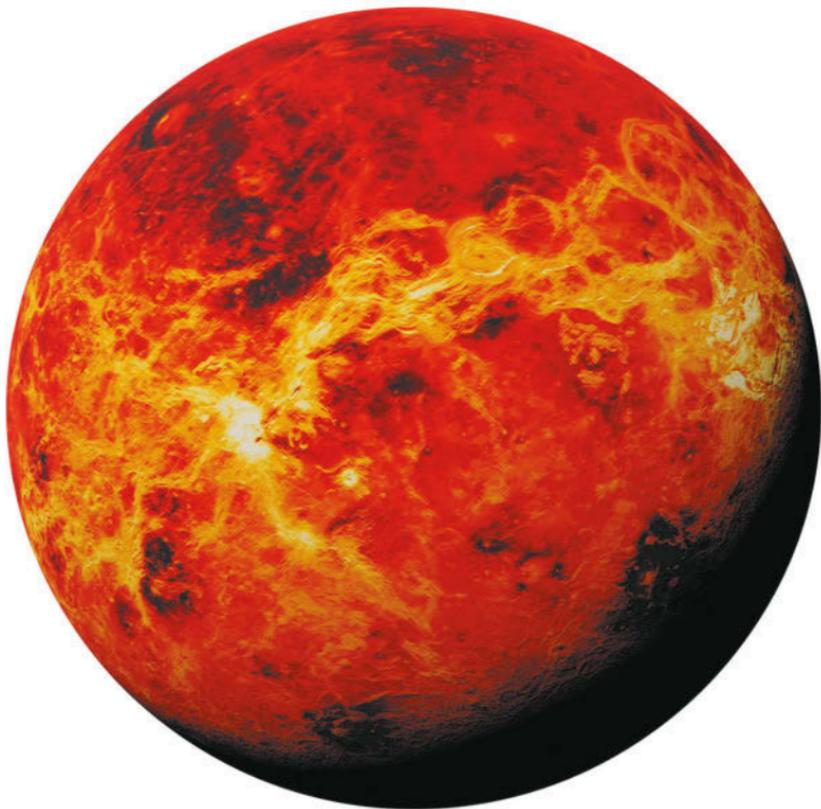
Isaac Asimov z. B. war fasziniert von der Seltsamkeit des Merkurs und wählte ihn als Schauplatz für seinen berühmten Antihelden in *Ich, der Robot*. Die Geschichte handelt von einem Roboter, der dank seines Schutzmantels auch extremer Sonnenstrahlung widerstehen kann (nicht zu verwechseln mit Sonny, dem Roboter aus dem Film *I, Robot* von 2004 mit Will Smith). Dann wäre noch Farrokhs Bulsara zu erwähnen, der den Namen des Planeten angenommen und so der Welt Freddie Mercury geschenkt hat. In der TV-Serie *Invader Zim* wird der Planet in ein Raumschiff verwandelt.

Wichtige Erkundungsmissionen

In jüngster Vergangenheit hat die Raumsonde MESSENGER bei ihren Vorbeiflügen an Merkur den Wissenschaftlern eine Fülle von Daten über die Zusammensetzung des Planeten geliefert: Der große Metallkern macht etwa 85 % des Radius des Merkurs aus. Auf den Bildern, die MESSENGER von der Planetenoberfläche geschossen hat, sind „Strahlenkrater“ zu erkennen, durch Meteoriteneinschläge entstandene Krater mit strahlenförmigen Ablagerungen ausgeworfener Materials. 2015 wurde die Sonde auf dem Merkur zum Absturz gebracht.

Wissenschaftliche Aufgaben

Die nächste Mission zum Merkur, von der sich die Wissenschaftler noch mehr Informationen erhoffen, ist bereits unterwegs. Die 2018 von der Europäischen Weltraumorganisation ESA gestartete Merkursonde BepiColombo soll mehrere Fly-by-Manöver machen und schließlich in eine Umlaufbahn um den Planeten einschwenken – was, falls alles nach Plan läuft, aber erst im Dezember 2025 geschieht. Die Mission, bei der auch Einsteins Relativitätstheorie getestet werden soll, ist für die ESA wahrlich ein heißes Eisen – zumal sie das erste Mal eine Sonde in einen so heißen Teil des Sonnensystems entsendet. Auf jeden Fall ist die Mission eine große Herausforderung – nicht zuletzt wegen der starken Gravitation der Sonne. Zur Mission gehören zwei Orbiter. Von der Japanischen Raumfahrtbehörde (JAXA) stammt der Magnetosphärenorbiter zur Untersuchung des Magnetfelds. Der Fernerkundungsorbiter der ESA soll die Planetenoberfläche und die innere Beschaffenheit untersuchen.



Venus

Namensgeber

Die Göttin der Liebe

Das Treibhaus

Viele Jahre lang hielten die Wissenschaftler die Venus für eine Art Schwesterplaneten der Erde. Die zwei Himmelskörper ähneln sich in Größe und Struktur und haben – nach astronomischen Maßstäben – in etwa die gleiche Entfernung zur Sonne: Die Erde liegt 1 AE von der Sonne entfernt und die Venus, der der Sonne zweitnächste Planet, 0,72 AE. Aufgrund der Tatsache, dass die Venus der Sonne näher ist als die Erde, nahm man an, dass auf dem Planeten ähnliche Bedingungen herrschen könnten wie in den tropischen Regionen der Erde. Neuere Erkenntnisse haben jedoch die Hypothese einer mehr oder weniger

tropischen Umwelt widerlegt. Weil die Atmosphäre der Venus einen extrem hohen Kohlendioxidgehalt hat und auf der Oberfläche kein Wasser vorhanden ist, kann der Planet seine Temperatur nicht regulieren. Kurz: Es wird immer heißer. Das ist das perfekte Beispiel für den Treibhauseffekt. Man weiß also, dass die Venus der heißeste Planet im Sonnensystem ist, auf dem die Temperaturen an der Oberfläche auf bis zu 470 °C ansteigen können.

Entdeckungsgeschichte

In der Geschichte der Astronomie sticht die Venus deutlich heraus. Das liegt – zumindest teilweise – an ihren Transiten: Alle 100 Jahre zieht die Venus auf spektakuläre Weise vor der Sonne vorbei. Bereits 650 v. Chr. zeichneten die Astronomen der

Maya die Bewegungen der Venus auf, um einen Planetenkalender zu erstellen, der sich als sehr genau erwies.

Faszinierendes

Die Venus ist zwar bekannt für ihre extrem hohen Temperaturen, doch das ist missverständlich. Das gilt nämlich nur für ihre Oberfläche. Erreicht man die Höhe, in der sich Wolken bilden, also etwa 48 km in der Atmosphäre, sinkt die Temperatur deutlich – und zwar in etwa auf die Temperatur wie auf der Oberfläche der Erde. Aufgrund der hohen Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre der Venus bestehen die Wolken aus Schwefelsäure. Diese wiederum rasen über die Planetenoberfläche und umrunden den Planeten mit Geschwindigkeiten von bis zu 354 km/h. Für die gesamte Umrundung brauchen die Wolken vier Tage – auf der Erde dauert die entsprechende „Wolkenreise“ viermal so lang.

Besondere Merkmale

Bei der Modellierung der Oberfläche der Venus spielt Hitze die entscheidende Rolle. Da gibt es den langen, gewundenen Lavakanal Baltis Vallis, den längsten seiner Art im gesamten Sonnensystem. Entdeckt wurde er 1983 von den Orbitern der sowjetischen Venera-Mission: Die beiden Raumsonden kartierten fast 1000 km des Baltis Vallis. Aktuelle Messungen zufolge ist der Lavafluss rund 7000 km lang und 1 bis stellenweise 3 km breit. Da die Enden heute wegen darüberliegender Felsen nicht sichtbar sind, könnte das Baltis Vallis sogar noch länger sein. Auf jeden Fall ist es länger als der Nil, der es nur auf 6650 km bringt.

Monde/Ringe

Wie der Merkur hat auch die Venus weder Monde noch Ringe.

Mögliche Existenz von Leben

Die Venus ist viel zu heiß, als dass es auf der Oberfläche Leben geben könnte. Einige Wissenschaftler spekulieren jedoch, dass in der mäßiger temperierten Atmosphäre widerstandsfähige Bakterien existieren könnten. Diese könnten den Organismen ähnlich sein, die auf der Erde in hydrothermalen Tiefseequellen vorkommen. Zu einem früheren Zeitpunkt der Planetengeschichte könnte es auf der Venus auch

robustere Lebensformen gegeben haben, ehe sich der Planet aufheizte und seine (hypothetischen) Meere verlor.

Venus in der Kultur

„Männer sind vom Mars, Frauen von der Venus“, dozierte der Paartherapeut John Gray. Schon immer galt der Planet als feminin; nur drei Gebilde auf der Venus sind nicht nach Frauen benannt (eines, der Vulkan Maxwell Montes, ist nach einem Mann benannt, die anderen zwei nach griechischen Buchstaben). In der Musik kleidete Lou Reed sie in seinem Song *Venus in Furs* in Pelz. Die Autoren von Pulp-Comics der 1950er hatten die gleiche Idee, bevölkerten die Venus mit halb nackten „Amazonen“ und schufen ein sehr erfolgreiches, wenn auch fragwürdiges Genre.

Wichtige Erkundungsmissionen

Nach ihrem Start im Mai 1989 brauchte die Raumsonde Magellan 15 Monate, bis sie ihre Umlaufbahn um die Venus erreichte. Das Warten hat sich gelohnt. Das hochauflösende Radar an Bord begann ab September 1990, detaillierte Bilder der Oberfläche des geheimnisvollen Planeten zu senden. Der Name der Mission war passend: Ferdinand Magellan, der portugiesische Weltumsegler aus dem 16. Jh., ist ein Symbol für die Kartografie, da er für viele Meere der Welt die ersten Seekarten lieferte. Die Sonde hat so viele Bilder geschossen, dass nach Abschluss der Mission fast 85% der Venusoberfläche erfasst worden sind.

Wissenschaftliche Aufgaben

Die Theorie der Venus als erdähnlicher Schwesterplanet wurde zwar widerlegt, doch jüngeren Forschungsergebnissen zufolge können in der Urgeschichte der Venus für Leben geeignete Bedingungen geherrscht haben. Modelle des Goddard Institute for Space Studies (GISS) der NASA legen nahe, dass es auf der Oberfläche bis zu 2 Mrd. Jahre lang einen flachen Ozean und erdähnliche Temperaturen gegeben haben könnte. Die Forschungsergebnisse des GISS haben vermutlich Folgen für zukünftige NASA-Missionen, die bewohnbare Planeten suchen und deren Atmosphäre erforschen. Dazu gehören auch der Transiting Exoplanet Survey Satellite und das James-Webb-Weltraumteleskop.



Erde

Planet des Lebens

Die Erde könnte der einzige Planet im Sonnensystem sein, auf dessen Oberfläche es Ozeane gibt. Dennoch ist ihr Name abgeleitet von „Erdboden“. Die Erde ist der Planet, mit dem alle anderen verglichen werden. Sie ist genau 1 AE von der Sonne entfernt, eine durchschnittliche Entfernung von 150 Mio. km. Der fünftgrößte Planet im Sonnensystem ist vielleicht auch der einzige, auf dem Leben existiert. Das ist wiederum gänzlich von der Sonne abhängig: Sie hält warm, ermöglicht Pflanzen die Photosynthese und gibt Licht. Allerdings macht sich nicht nur das Licht auf die achtmünütige Reise von der Sonne zur Erde. Von der Sonne geht auch der mit gefährlicher Strahlung beladene Sonnenwind aus. Zum Glück wirkt die Atmosphäre der

Erde wie ein Schutzschild gegen Strahlung und Meteoriteneinschläge. Allerdings werden wir die enge Beziehung zur Sonne noch sehr bedauern, denn in 5 Mrd. Jahren wird die Sonne auf 100-fache Größe angewachsen sein, wodurch die Erde als der Planet mit der höchsten Dichte in unserem Sonnensystem verdunsten wird.

Entdeckungsgeschichte

Die Entdeckungen unserer Vorfahren haben ein paar interessante Vorstellungen über die Erde und deren Lage im Universum hervorgebracht. Es ist ein verbreiteter Irrglaube, dass bis zum Mittelalter viele Leute dachten, die Erde wäre flach. Tatsächlich weiß man seit mehr als zwei Jahrtausenden, dass die Erde rund ist: So berechneten schon die alten Griechen ihren Umfang, in-

dem sie während der Sommersonnenwende die Schatten maßen. Aristoteles stellte bei seinen Beobachtungen fest, dass die Sterne in Ägypten anders erscheinen als in Griechenland und folgerte, dass die Oberfläche des Planeten gekrümmt sein müsste. Zum selben Schluss kamen die römischen Seefahrer, die bemerkten, dass aus der Ferne nur höher liegendes Gelände sichtbar ist. Und schon im 6. Jh. berechnete der indische Gelehrte Aryabhata den Umfang der Erde. Er vertat sich nur um 107 km.

Faszinierendes

Etwa 70 % der Erde sind von Meeren bedeckt, in denen es von Leben wimmelt. Mit einer Tiefe von durchschnittlich 4 km fungieren die Ozeane als Reservoir für fast 97% des gesamten Wassers des Planeten. In den Meeren liegen auch einige der imposantesten Geländeformationen: Der Mittelozeanische Rücken z. B. ist der längste Gebirgszug der Erde und liegt zwischen dem Nordpolarmeer und dem Atlantik weit unter dem Meeresspiegel. Mit einer Länge von 65 000 km ist er länger als die Anden, die Rocky Mountains und der Himalaja zusammen.

Monde/Ringe

Die Erde hat einen Mond. Er ist der einzige weitere Himmelskörper, auf den der Mensch je einen Fuß gesetzt hat – bislang. Zudem verursacht der Mond die Gezeiten.

Besondere Merkmale

Nirgendwo sind die natürlichen Merkmale der Erde besser erkennbar als in ihren Extremen. Der höchste Punkt ist der 8848 m über dem Meeresspiegel gelegene Mt. Everest. Rund 800 Menschen stellen sich pro Jahr dem mit Lebensgefahr behafteten Aufstieg auf den Gipfel. Der niedrigste Punkt ist das Challengertief im Marianengraben im Pazifik. Wie tief genau es ist, muss noch ermittelt werden – doch nach derzeitigem Kenntnisstand sind es mindestens 10994 m. Der Wasserdruck in dieser Tiefe ist 1000-mal größer als auf Höhe des Meeresspiegels. Mehr als 1,24 t wirken auf jeden Quadratzentimeter – das ist, als würde man 50 Jumbojets vom Boden heben wollen. Dann gibt es noch das Great Barrier Reef vor der Nordwestküste Australiens, eines der wenigen Naturgebilde, die vom

All aus zu sehen sind. In diesem Teil der Erde wachsen seit 25 Mio. Jahren Korallen. Das Riff auf einer Fläche von rund 344 400 km² ist 2300 km lang.

Erkundungsmissionen

Man kennt die NASA vor allem wegen ihrer Raumfahrtprojekte, doch in Zukunft werden sich einige ihrer wichtigsten Projekte auf die Erde konzentrieren. Die NASA Earth Science ist eine Abteilung, die sich der Beobachtung unseres Luftraums, des Bodens und der Meere widmet. Ein anstehendes Projekt ist u. a. die Satellitenmission Surface Water and Ocean Topography (SWOT). Nach dem Start im September 2021 soll SWOT die erste globale Vermessung der Wasseroberfläche der Erde vornehmen, damit man besser versteht, wie sich die Gewässer verändern. Eine weitere wichtige Mission ist TEMPO (Tropospheric Emissions: Monitoring Pollution), ein Instrument, das von einem geostationären Punkt in 35 400 km Höhe die Luftverschmutzung in Nordamerika messen soll.

Wissenschaftliche Aufgaben

In vielerlei Hinsicht steht dem Leben auf der Erde eine unsichere Zukunft bevor. Die Erderwärmung hat in den letzten Jahrzehnten schneller zugenommen als in den vorherigen 2000 Jahren. Die Paläoklimaforschung, die sich auf Hinweise aus den Jahresringen der Bäume, aus den Sedimenten der Meere und den Polareiskappen stützt, legt nahe, dass der Planet sich zehnmal schneller erwärmt als vermutet – und zwar hauptsächlich durch menschliche Einwirkung. Als Folge schmilzt das Packeis in den Meeren. Die Meere werden wärmer, und überall auf der Welt treten extreme Wetterereignisse häufiger auf. Die Erderwärmung ist aber nicht die einzige Gefahr: Auch die beschleunigte Entwaldung – nicht nur im brasilianischen Amazonasbecken – hat ernste Konsequenzen. Eine kürzlich beendete Zweijahresstudie kam zu dem Ergebnis, dass im Amazonasbecken zwar fast jeden Tag eine neue Pflanzen- oder Tierart entdeckt wird, wegen der schnellen Entwaldung aber viele Arten aussterben, noch bevor sie entdeckt werden. Das aktuelle geologische Zeitalter wird als Anthropozän bezeichnet: Denn der Mensch ist heute der vorherrschende Einflussfaktor.



Mars

Namensgeber

Der Gott des Krieges

Der Rote Planet

Mit 1,52 AE ist der Mars der viertnächste Planet zur Sonne. Sein Spitzname „roter Planet“ ist alles andere als neu: Vor mehr als 4000 Jahren nannten ihn die Ägypter *har decher*, „Der Rote“. Das liegt an den Eisenmineralen im Marsboden – wenn diese mit Sauerstoff in Berührung kommen, oxidieren sie und verleihen der Marsoberfläche die rostrote Farbe. Der Mars ist derzeit Gastgeber für den NASA-Lander InSight, der im November 2018 auf der Oberfläche des Mars abgesetzt wurde. InSight ist die jüngste einer Reihe von Missionen, die herausfinden sollen, ob der Mars sich eines Tages für die menschliche Besiedelung eignen könnte. Derzeit sind die Bedingungen

alles andere als ideal: Die Durchschnittstemperaturen liegen weit unter dem Gefrierpunkt, starke Stürme hüllen die Oberfläche in Staub, und die dünne Atmosphäre bietet wenig Schutz vor Trümmerteilchen. Hinzu kommt, dass es auf der Oberfläche kein Wasser in flüssiger Form gibt. Andererseits weisen die Ergebnisse der letzten Marsmissionen auf eine Planetengeschichte hin, die nahelegt, dass es in der Vergangenheit auf dem Mars Fluten und nachweislich salines Grundwasser gegeben hat.

Entdeckungsgeschichte

1877 war ein wichtiges Jahr in der Marsbeobachtung. Im August jenes Jahres entdeckte der amerikanische Astronom Asaph Hall, dass der Mars nicht nur einen, sondern zwei Monde besitzt. Er benannte sie nach den Söhnen von Ares, dem griechi-

schen Gott des Krieges, Phobos und Demos. Zudem glaubte der Italiener Giovanni Schiaparelli ein deutlich sichtbares Netz von Gräben auf der Oberfläche des roten Planeten zu erkennen. Als er seine Entdeckung veröffentlichte, kam es zu einem folgenschweren Übersetzungsfehler: Aus den italienischen *canali* (Gräben) wurden auf Englisch *canals* (Kanäle), was an Bauten außerirdischer Ingenieure und nicht an geologische Formationen denken ließ.

Faszinierendes

Der Marsianer hatte Recht: Man kann (zumindest theoretisch) auf dem Mars Kartoffeln anbauen. Man arbeitet derzeit daran, die für den Anbau von Nahrungsmitteln im All erforderlichen Kenntnisse zu erlangen. Auf der Internationalen Raumstation wird derzeit im Rahmen der Experimentenreihe „Veggie“ versucht, unter Kunstlicht in einem kleinen Gewächshaus Salat und andere Feldfrüchte anzubauen. Diese Technik hat sich auf der Erde als sehr effektiv erwiesen. In Ländern mit wenig Anbauflächen, z. B. den Niederlanden, wird Gemüse unter LED-Licht angebaut. Im Vergleich zu konventionellen Anbaumethoden werden dabei weniger Hitze und CO₂ emittiert.

Besondere Merkmale

Der Mars ist berühmt für seine dunklen Flecken, die man einst für Meere hielt. Der größte ist Syrtis Major Planum, benannt nach der Großen Syrte (Golf von Sidra vor der Küste Libyens). Syrtis Major war das erste Oberflächenmerkmal des Mars, das von der Erde aus verzeichnet wurde (1659 von Christiaan Huygens). Es erstreckt sich vom Marsäquator 1500 km nach Norden und dann 1000 km von West nach Ost. Die dunkle Farbe des Flecks ist auf Basalt zurückzuführen. Die Struktur ist besonders gut sichtbar, weil die Luft in dieser Region – für Mars-Verhältnisse – staubarm ist. Syrtis Major Planum war bereits auf einer frühen Karte des Planeten verzeichnet, die im Jahr 1877 geschaffen wurde, als der Mars der Erde besonders nahe kam. Wegen der klaren Sicht gilt die Region als möglicher Landeplatz für künftige Marsmissionen.

Mars in der Kultur

Geht es in der Popkultur um Außerirdische, dann sind es meist Marsianer. Irgend-

wie scheinen Venusianer oder Neptunianer nicht so gut anzukommen. Weil die 1938 im Radio gesendete Hörspielversion des Romans *Krieg der Welten* wie Radionachrichten klang, glaubten viele Amerikaner, die Handlung sei wahr. Ob die Nachricht von marodierenden Plutoniern wohl eine ähnliche Panik ausgelöst hätte? Im aufgeheizten politischen Klima der 1950er-Jahre schienen die Marsmenschen die perfekten Großleinwand-Bösewichter zu sein: skrupellos und versessen darauf, die Weltherrschaft zu erlangen.

Wichtige Erkundungsmissionen

Die Marsmission InSight soll etwas bewerkstelligen, was zuvor nie versucht wurde: Sie soll einen kompletten Check-up eines anderen Planeten machen. Seit der Landung auf der Oberfläche 2018 sammelt InSight Informationen und führt mit einer Reihe von Instrumenten Experimente auf dem Mars durch, um effektiv seine Temperatur zu messen, seinen Puls zu nehmen und seine Reflexe zu testen. Die Untersuchungen sollen aktuelle Daten zur Zusammensetzung des Planeten liefern, damit man Rückschlüsse zur Entstehung ähnlicher Gesteinsplaneten innerhalb des Sonnensystems ziehen kann. Die von InSight gelieferten Daten könnten vielleicht auch etwas über den Ursprung der Exoplaneten, also der planetaren Himmelskörper, die um Sterne außerhalb des Sonnensystems kreisen, verraten.

Wissenschaftliche Aufgaben

Derzeit testet die NASA das Raumschiff Orion (Multi-Purpose Crew Vehicle, MPCV), das Astronauten auf den Mars bringen soll. Einst war es zum Transport von Fracht und Personen zur Internationalen Raumstation konzipiert. 2018 stellte die NASA den Plan für das Lunar Orbital Platform-Gateway vor, eine Raumstation, die den Mond umkreisen soll. Sie soll als Zwischenstation für Missionen des Raumschiffs Orion insbesondere zum Mars dienen. Orion wird dem Raumschiff Apollo ähneln, aber von moderneren Technologien profitieren. Sechs Astronauten können mitfliegen. Wenn alles nach Plan läuft, werden die Komponenten für das Gateway in den frühen 2020ern ins All gebracht. Bemannte Weltraummissionen mit der Orion sollen gegen Ende jenes Jahrzehnts beginnen.



Jupiter

Namensgeber

König der Götter

Der Riese

Der Gasriese Jupiter ist der größte Planet im Sonnensystem. Er ist elfmal so groß wie die Erde. Über seiner Oberfläche liegen auffällige Wolkenbänder, die erstmals im 17. Jh. von Galilei beobachtet wurden. Später fanden die Forscher heraus, dass diese aus Wasser und Ammoniak bestehenden Wolken in tiefere Schichten hineinreichen. Jupiters Atmosphäre ist reich an Wasserstoff, der zusammen mit dem ebenfalls vorhandenen Helium auch zur Geburt eines Sterns hätte führen können. Die Bedingungen auf dem Jupiter lassen allerdings eher an das Ende als an den Anfang einer Welt denken. Gewaltige Winde fegen über den

Planeten; am bekanntesten ist der Große Rote Fleck, ein Wirbelsturm, der vielleicht schon vor 300 Jahren begann.

Entdeckungsgeschichte

Erste Aufzeichnungen von Sichtungen des nach dem Vater der olympischen Götter benannten Jupiter wurden schon im 8. Jh. v. Chr. von babylonischen Astronomen gemacht. Erste detaillierte Beobachtungen des Planeten durch das Teleskop stellte 1610 Galileo Galilei an. Dabei entdeckte er die ersten vier Monde des Jupiters, von denen zwei den Merkur an Größe übertreffen.

Faszinierendes

Wegen seiner riesigen Größe besitzt der Jupiter eine äußerst starke Schwerkraft. Sie

ist so stark, dass sie den Planeten zusammenzieht. Dabei wird die Materie im Inneren komprimiert, was gewaltige Reibung und Hitze verursacht. Tatsächlich strahlt der Jupiter mehr Wärme ab, als er von der Sonne empfängt.

Besondere Merkmale

Io, der drittgrößte der 79 bekannten Monde des Jupiters, ist der Himmelskörper mit der stärksten vulkanischen Aktivität im Sonnensystem. Es gibt hier Hunderte Vulkane (von denen man weiß), die Lava mehr als 10 km in die Höhe speien. Nach Ansicht der Forscher besteht diese Lava hauptsächlich aus geschmolzenem Schwefel und Silikaten und die sehr dünne Atmosphäre des Mondes hauptsächlich aus Schwefeldioxid. Io könnte einen Eisenkern besitzen, der groß genug ist, um dem Mond ein eigenes Magnetfeld zu geben. Die Umlaufbahn des Mondes Io führt durch das Magnetfeld des Jupiters (welches 20-mal stärker ist als das der Erde), wobei elektrische Spannungen von 400 000 Volt entstehen.

Monde/Ringe

Jupiter besitzt nicht nur die vier riesigen Galileischen Monde, sondern (mindestens) noch 75 weitere. Voyager 1 sorgte 1979 für eine Überraschung, als die Sonde ein Ringsystem um den Jupiter entdeckte, das dritte, welches im Sonnensystem festgestellt wurde. Jupiters Ringe sind allerdings sehr schwach, kaum sichtbar und bestehen hauptsächlich aus Staub.

Mögliche Existenz von Leben

Angesichts seines starken Magnetfelds und des Fehlens einer eigentlichen Oberfläche ist der Gasriese Jupiter selbst kein Kandidat für mögliches Leben. Mit seinen Monden verhält es sich allerdings anders. Mit möglichen Ozeanen unter der Eiskruste und stabilen Umlaufbahnen stehen die Monde Ganymed, Europa und Kallisto, die alle auch über eine schwache Atmosphäre verfügen, ganz oben auf der Liste der Himmelskörper des Sonnensystems mit möglichem Leben.

Jupiter in der Kultur

Mit seiner gigantischen Größe und seinen zahlreichen Monden hat der Jupiter schon unzählige Schriftsteller und Künstler inspi-

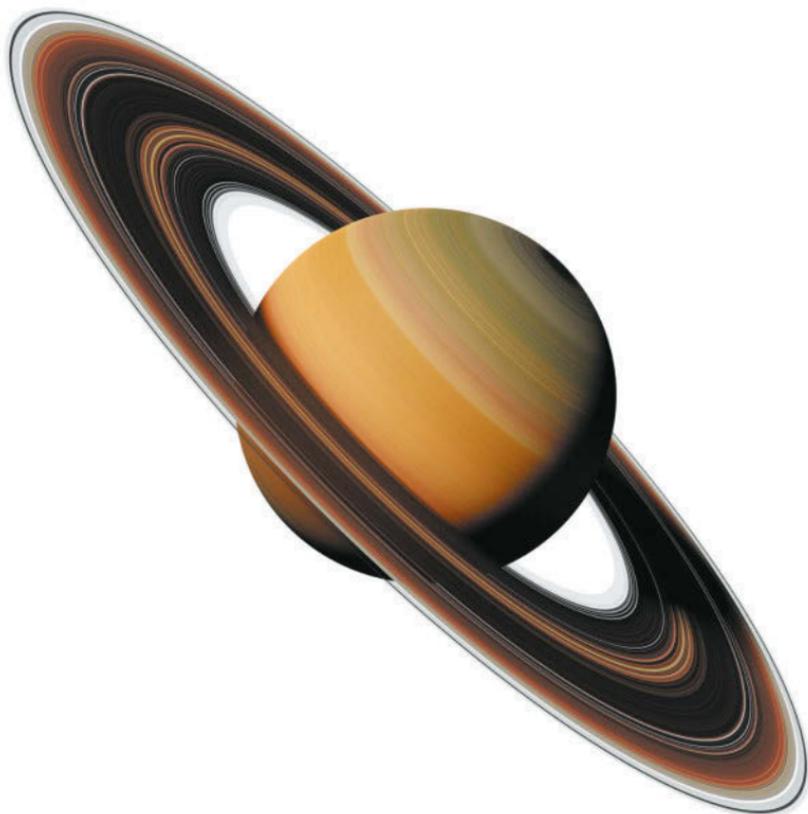
riert. Im 2019 erschienenen Netflix-Spielfilm *Io* ist der namensgebende Mond das Ziel von Menschen, die von einer hoffnungslos verschmutzten Erde fliehen. Der Planet selbst war Schauplatz im Film *Jupiter Ascending*, der 2015 veröffentlichten „Space Opera“ der Geschwister Wachowski. In seinem 2004 veröffentlichten Roman *Der Wolkenatlas*, der in die Auswahl für den Booker Prize kam und später ebenfalls von den Geschwistern Wachowski verfilmt wurde, schickt David Mitchell seine Figuren auf andere Jupitermonde.

Wichtige Erkundungsmissionen

Jupiter wird zwar schon seit Jahrhunderten beobachtet, aber erst seit kurzer Zeit entwickeln wir ein näheres Verständnis für die auf die Planeten herrschenden Bedingungen. Im Jahr 2000 gelang es der Sonde Cassini auf ihrem Weg zum Saturn aus fast 10 Mio. km Entfernung Echtfarbenaufnahmen des Jupiters als Fotomosaik zu senden. Diese Entfernung ist vergleichsweise klein: Der Mindestabstand der Erde zum Jupiter beträgt 587 Mio. km. Im Jahr 2016 kam die NASA-Sonde Juno dann viel näher an den Gasriesen heran. Die 2011 gestartete Raumsonde umkreist immer noch den Jupiter und sendet detaillierte Daten über den Aufbau und die Merkmale des Planeten.

Wissenschaftliche Aufgaben

Bei Jupiters Monden hat man eine große Auswahl – schließlich besitzt er mindestens 79 davon, mehr als jeder andere Planet im Sonnensystem. Zwölf neue Monde wurden erst 2018 von Forschern entdeckt, die nach Objekten im tiefen Weltraum spähten, vor allem nach einem hypothetischen Himmelskörper weit jenseits des Pluto, dem sogenannten „Planet X“. Genauere Untersuchungen der faszinierenden (und zahlreichen) Monde des Jupiters lassen die Forscher glauben, dass einige die Bedingungen für Leben bieten könnten. Ganz oben auf der Liste der Kandidaten steht Europa, wo sich ein großer Ozean unter der vereisten Oberfläche befinden könnte. Die Europa-Clipper-Mission der NASA, deren Start für die 2020er-Jahre geplant ist, soll nach Gewässern unter der Oberfläche des Mondes suchen und damit diese Frage ein für alle Mal klären.



Saturn

Namensgeber

Gott der Aussaat

Herr der Ringe

Das auffälligste Merkmal des Saturns sind seine sieben Ringe. Sie bestehen aus Eis und Staub und sind mit einem Fernrohr sogar von der Erde aus zu erkennen. Weniger offensichtlich ist die Tatsache, dass die Ringe des Saturns zwar Tausende Kilometer weit, aber im Durchschnitt nur etwa 10 m dick sind. Wie der Jupiter ist auch der Saturn ein Gasriese. Er hat zwar einen Gesteinskern, der aus Metallen wie Eisen und Nickel besteht, aber keine richtige Oberfläche. Stattdessen ist der Saturn von wirbelnden Gasen – hauptsächlich Wasserstoff und Helium – bedeckt. Für menschliche Augen erscheint die „Oberfläche“ des Saturns ge-

streift – dieser Effekt wird von den extremen Winden und Stürmen verursacht.

Entdeckungsgeschichte

Die ältesten dokumentierten Beobachtungen des Saturns stellten um 700 v. Chr. assyrische Astronomen im Nahen Osten an. Sie beschrieben einen Ringplaneten, den sie zu Ehren einer assyrischen Sonnengotttheit „Stern von Ninib“ nannten. Den mit bloßem Auge sichtbaren Planeten erwähnt auch Ptolemäus (um 150 n. Chr.) in seinen astronomischen Schriften. Galileo Galilei beobachtete 1610 als Erster das merkwürdige Aussehen des Planeten, konnte aber keine Erklärung dafür finden. Im Jahr 1659 gelang es dem Astronomen Christiaan Huygens schließlich, die seltsamen Objekte als ein Ringsystem zu identifizieren.

Faszinierendes

Auf dem Saturn findet sich ein im Sonnensystem einzigartiges Wetterphänomen: Der Nordpol des Planeten ist Mittelpunkt eines Polarwirbels mit der stabilen Form eines Sechsecks, der von der Sonde Voyager I aufgenommen wurde. Anhand der später von der Saturnsonde Cassini übermittelten Bilder konnten Wissenschaftler seine Größe bestimmen: Demnach hat das Hexagon mit dem Wirbelsturm im Zentrum einen Durchmesser von 32000 km und erreicht Geschwindigkeiten von bis zu 320 km/h.

Besondere Merkmale

Die Monde des Saturns sind faszinierend: Mimas, einer der kleineren Monde, hat einen Durchmesser von nur 396 km; bis zur Ankunft der Voyager-Sonden in den 1980er-Jahren erschien er nur als Punkt vor der Oberfläche des Planeten. Mimas ist vor allem wegen seiner Ähnlichkeit mit dem Todesstern, der Geißel der Rebellenallianz in den *Star-Wars*-Filmen, bekannt. Die Oberfläche von Mimas ist geprägt von zahlreichen Einschlagkratern. Der größte ist der Krater Herschel, der etwa ein Drittel des Durchmessers von Mimas einnimmt.

Monde/Ringe

Mit vier Hauptringen und drei Gruppen aus schwächeren und schmalen Ringen ist der Saturn der König aller Ringplaneten. Manche der Ringe bestehen aus Partikeln so groß wie ein Haus, aber alle sind relativ schmal. Was ihnen an Höhe fehlt, machen sie in der Breite wett: Vom Planeten bis zum Außenrand der Ringe sind es 80000 km. Der Saturn hat auch 62 bisher bekannte Monde – von winzigen Minimonnen bis hin zum riesigen Titan, der größer ist als der Merkur. Die Ringe und Monde interagieren insofern miteinander, als die Monde Staub und Partikel aus den Ringen anziehen und dadurch an Masse zunehmen. Der E-Ring wiederum wird von dem Eis gebildet, das der Mond Enceladus auswirft.

Mögliche Existenz von Leben

Der Saturn ist zu windig und der Druck zu hoch, als dass auf dem Planeten Leben möglich wäre. Bei den Monden sieht das jedoch anders aus. Sollte es auf Enceladus einen flüssigen Ozean unter der Oberfläche geben, wäre er vielleicht ein Kandidat.

Saturn in der Kultur

Der Saturn kommt in der Popkultur in unterschiedlichster Form vor. In W.G. Sebalds *Die Ringe des Saturn* hält der Planet Wacht, während der Erzähler bei einer Wanderung durch die englische Grafschaft Suffolk über das Wesen von Zeit und Erinnerung nachdenkt. Autoren wie Arthur C. Clarke und Isaac Asimov lassen Geschichten auf den Saturnmonden spielen. In der klassischen Musik widmet Gustav Holst in seinem Orchesterwerk *Die Planeten* jedem Planeten außer der Erde einen Satz. Den Satz *Saturn* schätzte er selbst besonders.

Wichtige Erkundungsmissionen

Mit der Ankunft der Cassini-Sonde der NASA im Jahr 2004 begannen sich die Geheimnisse der Saturnmonde zu lüften. Im Rahmen der nach Giovanni Cassini, einem italienischen Astronomen des 17. Jhs., benannten Mission umkreiste die Raumsonde Cassini zwischen der Ankunft im Orbit und dem Ende der Mission 2017 den Gasriesen fast 300-mal und spürte eine Reihe von Monden auf, auf denen es Wasser und damit eine Grundbedingung für Leben gibt.

Wissenschaftliche Aufgaben

Der besonders dunkle Mond Phoebe könnte ein Fenster in die Vergangenheit des Sonnensystems sein. Er ist ein Beispiel für ein eingefangenes Objekt, eines kleineren Himmelskörpers, der in den Sog des Gravitationsfelds eines größeren Planeten gelangte, so wie der Marsmond Phobos. Das dunkle Material, aus dem Phoebe besteht, ist in den äußeren Bereichen des Sonnensystems verbreitet. Das legt nahe, dass Phoebe aus der Zeit der Entstehung des Systems stammt und wegen ihrer Randlage nicht in das Schwerefeld geriet, aus dem die verschiedenen Planeten entstanden. Damit unterlag Phoebe auch nicht der Aufheizung, die während der Entstehung der Planeten erfolgte. Deshalb könnte sich die chemische Zusammensetzung Phoebes seit Milliarden Jahren nicht verändert haben. In diesem Fall könnte Phoebe Hinweise auf die Entstehung der Milchstraße geben. Auch der Titan ist von großem Interesse, weil er der einzige bekannte Mond mit einer stark ausgeprägten Atmosphäre ist. Nach dem Jupitermond Ganymed ist Titan der zweitgrößte Mond im Sonnensystem.



Uranus

Namensgeber

Der Vater der Titanen

Der Eisriese

Als drittgrößter Planet des Sonnensystems ist der „Eisriese“ Uranus viermal so groß wie die Erde. Er wurde nach dem griechischen Himmelsgott Uranos benannt. Wissenschaftler spekulieren, dass sich der Planet näher bei der Sonne bildete und erst später ins äußere Sonnensystem migrierte. Heute läuft der Uranus an siebenter Stelle um die Sonne. Die charakteristische blau-grüne Farbe des Planeten wird von Methanwolken verursacht, die über die Oberfläche des Uranus ziehen, auf der Temperaturen von eisigen -200°C herrschen. Die Atmosphäre des Uranus besteht hauptsächlich aus Helium und Wasserstoff,

ähnlich wie bei Saturn und Jupiter, ist aber dünner. Der Planet umkreist in 84 Erdenjahren einmal die Sonne. Seine Umlaufbahn ist 2,5 bis 3 Mrd. km von der Sonne entfernt.

Entdeckungsgeschichte

Der Uranus wurde für einen Planeten erst relativ spät entdeckt. Uranus war der erste Planet, von dem die antiken Zivilisationen nichts wussten. Erstmals beobachtet wurde er 1781 von dem britischen Astronomen William Herschel, der sechs Jahre später auch Oberon und Titania, die beiden größten Monde des Uranus, entdeckte. Bei sehr guten Sichtverhältnissen ist der Planet auch mit bloßem Auge zu sehen, wenn man weiß, wo man nach ihm suchen muss.

Faszinierendes

Obwohl die Wissenschaftler den Uranus schon viele Jahrzehnte erforschen, konnte das Geheimnis der Zusammensetzung seiner auffällig blauen Wolkendecke erst 2017 gelüftet werden. Bei großen Planeten, die die Sonne näher umkreisen, enthalten die Wolken hohe Konzentrationen von Ammoniak. Die Wolken des Uranus hingegen enthalten hochgiftigen Schwefelwasserstoff.

Besondere Merkmale

Wie die Venus rotiert der Uranus in Ost-West-Richtung – anders als die meisten anderen Planeten. Uranus ist darin einmalig, dass seine Rotationsachse nahezu in der Bahnebene verläuft, er also in ihr fast wie ein Ball rollt. Die Ursache für diese extreme Neigung ist einer Theorie zufolge der Zusammenprall des Uranus mit einem großen Objekt – möglicherweise so groß wie die Erde –, der dem Planeten seine Schiefelage verpasste. Daher besitzt der Uranus interessante saisonale Besonderheiten: Am Nordpol bringt der Winter 21 Jahre Dunkelheit, der Sommer 21 Jahre Tageslicht. Frühjahr und Herbst fallen mit je 42 Jahren Licht bzw. Dunkel noch länger aus.

Monde/Ringe

Der Uranus besitzt fünf größere Monde, die nach Shakespeare-Figuren benannt sind. Alles in allem sind heute 27 Monde des Uranus bekannt, von denen die meisten erst im Raumfahrtzeitalter entdeckt wurden. Einige von ihnen könnten Überbleibsel der hypothetischen Kollision des Planeten mit einem anderen Himmelskörper sein, die bei dem Zusammenprall weggeschleudert und in Umlaufbahnen um den Planeten eingefangen wurden. Der Eisriese besitzt auch ein eigenes, relativ junges System aus 13 Ringen. Diese sind alle sehr schwach und dunkel und bestehen aus Feinstaub und größeren Partikeln. Sie wurden erst 1977 entdeckt und gelten als Produkt von Zusammenstößen. Die Staubbänder haben eine kurze Lebensdauer von 100 bis 1000 Jahren, sofern ihnen kein neues Material zugeführt wird. Einige Monde agieren vielleicht als „Schäfer“ für die Ringe.

Mögliche Existenz von Leben

Der Eisriese Uranus empfängt nur schwaches Licht von der Sonne und besitzt we-

gen seiner Rotationsachse ungeheuer lange Jahreszeiten. Auch die Windgeschwindigkeiten sind problematisch: Die Winde wehen in umgekehrter Richtung der Rotation mit bis zu 900 km/h. Das alles besagt, dass der Uranus nicht gerade einen Spitzenplatz auf der Liste der Orte für mögliches Leben einnimmt. Seine großen Monde könnten in dieser Hinsicht Potenzial haben; es wird aber noch beträchtliche Zeit vergehen, ehe genauere Aussagen über sie möglich sind.

Uranus in der Kultur

In der Kinderbuchserie *Captain Underpants* hat der Uranus einen prominenten Platz und taucht in Klassikern wie *Captain Underpants and the Attack of the Talking Toilets* und *Captain Underpants and the Perilous Plot of Professor Poopypants* auf. Der Planet kommt auch in diversen Comic-Reihen des Marvel-Universums vor und wird regelmäßig von Dr. Who, dem berühmtesten Zeitreisenden, aufgesucht. In der Musik gibt's im Pink-Floyd-Song *Astronomy Domine* von 1967 eine Anspielung auf den Uranusmond Titania. Gustav Holst gab dem Uranus-Satz seines Orchesterwerks *Die Planeten* den Untertitel *Der Magier*.

Wichtige Erkundungsmissionen

Angesichts der gewaltigen Entfernung von 2,6 Mrd. km von der Erde hat es bislang noch keine Orbitalmissionen um den Uranus gegeben. Die am 20. August 1977 gestartete NASA-Sonde *Voyager 2* ist die einzige, die am Uranus vorbeigeflogen ist. Nach einer Reisezeit von mehr als neun Jahren näherte sich *Voyager 2* am 24. Januar 1986 dem großen Eisriesen bis auf 80 000 km. In einem Zeitfenster von nur sechs Stunden konnte die Raumsonde die ersten Daten über den Planeten sammeln, darunter Nahaufnahmen seiner Ringe und Monde.

Wissenschaftliche Aufgaben

Aufgrund der Entfernung des Uranus zur Erde ist es wirklich schwer, seine „Minimonde“ – von denen manche gerade mal einen Durchmesser von 12 km haben – eingehender zu erforschen. Wissenschaftler der University of Idaho glauben dennoch, zwei neue winzige Monde entdeckt zu haben, die den Planeten irgendwo nahe den äußeren Ringen umkreisen.



Neptun

Namensgeber

Der Gott des Meeres

Der blaueste Planet

Mit einer Entfernung von niemals weniger als 4,3 Mrd. km zur Erde ist der Neptun der einzige Planet im Sonnensystem, der mit bloßem Auge nicht sichtbar ist. Und es ist keine Überraschung, dass der Eisriese als sonnenfernster Planet trüb und kalt ist. Tatsächlich ist der Neptun 30-mal weiter von der Sonne entfernt als die Erde, sodass die Sonne hier 900-mal schwächer strahlt, als auf der Erde. Auf dem Neptun wird es also nie wirklich hell und bei Durchschnittstemperaturen von rund -200°C auch nie wirklich warm. Die Pole bilden eine gewisse Ausnahme: Da ein Jahr auf dem Neptun 165 Erdenjahre dauert, umfas-

sen die Sommer und Winter jeweils 40 Erdenjahre. Weil die Pole im Sommer mehr Sonnenlicht abbekommen, kann in dieser Zeit die Temperatur am Nord- oder am Südpol um bescheidene zehn Grad steigen, sodass das gefrorene Methangas auftaut und aus der dichten Atmosphäre austritt. Auf alle Fälle sieht Neptun aus der Ferne sehr schön aus – seine Oberfläche erstrahlt in einem Blau, mit dem sich die blauesten Meere der Erde nicht messen können.

Entdeckungsgeschichte

Der Neptun wurde 1846 von dem deutschen Astronomen Johann Gottfried Galle entdeckt, der sich auf eine Theorie des französischen Mathematikers Urbain Joseph Le Verrier stützte. Beide Forscher glaubten, dass ein noch unentdeckter Planet die Um-

laufbahn des nahe gelegenen Uranus beeinflusste. Allein aufgrund ihrer Berechnungen konnten sie die Existenz des Neptuns und seine Lage genau voraussagen.

Faszinierendes

Kälte und Dunkelheit würden alle Neptun-Besucher vor Probleme stellen – um die sie sich allerdings nicht sorgen müssten, da sie gleich bei der Ankunft von den starken Stürmen davongeweht würden. Mit eisigen und erstaunlichen 1930 km/h sind die Windgeschwindigkeiten auf dem Neptun viermal so hoch wie bei den stärksten Stürmen auf der Erde.

Besondere Merkmale

Der nach dem Sohn des Poseidon benannte Neptunmond Triton enthält 99,5% der Masse, die den Neptun umkreist und ist eines der kältesten Objekte im Sonnensystem. Während eines Vorbeiflugs im Jahr 1989 registrierte die Raumsonde Voyager 2 auf diesem eiskalten Mond Temperaturen, die noch unter denen auf dem Neptun lagen. Fast der gesamte Mond ist von Eis bedeckt, das aus gefrorenem Stickstoff besteht. Die Eisoberfläche von Triton reflektiert zwar drei Viertel des auftreffenden Sonnenlichts, wegen der gewaltigen Entfernung von der Sonne erscheint der Mond trotzdem relativ dunkel.

Monde/Ringe

Der Neptun besitzt 14 Monde, von denen nur zwei von der Erde aus mit Teleskopen entdeckt wurden. Der Mond Triton wurde ganze 17 Tage nach der ersten Sichtung des Planeten durch Galle entdeckt, aber es dauerte bis 1949, ehe Nereid als nächster Neptunmond identifiziert wurde. Alle übrigen verdanken ihre Entdeckung Voyager 2 oder dem Weltraumteleskop Hubble. Der Neptun war der vierte Planet, bei dem Ringe festgestellt wurden (1984). Er hat fünf dunkle, überwiegend schwache Staubringe, die in ihrer Zusammensetzung eher den Ringen des Jupiters als denen des Saturns ähneln.

Mögliche Existenz von Leben

Der kalte, stürmische Planet ohne feste Oberfläche ist für Leben eher ungeeignet, doch der Mond Triton könnte ein passender Ort für eine Weltraumkolonie sein.

Neptun in der Kultur

Der Planet dient als Kulisse in dem 1997 erschienenen Sci-Fi-Horrorfilm *Event Horizon – Am Rande des Universums*, in dem Laurence Fishburne (noch vor *Matrix*) ausgesendet wird, um nach einem Raumschiff zu suchen, das in der Umlaufbahn um den Neptun verschwunden ist. In H. G. Wells' Kurzgeschichte *The Star* (1897) wird der Neptun bei einer interplanetaren Kollision zerstört. In der Fernsehwiедerauflage *Star Trek: Enterprise* von 2001 können Raumschiffe in nur sechs Minuten von der Erde zum Neptun und wieder zurück fliegen.

Wichtige Erkundungsmissionen

Fast 150 Jahre, nachdem der Neptun erstmals (in einer Berliner Sternwarte) gesichtet wurde, erhielt die NASA-Sonde Voyager 2 1989 die Gelegenheit, den Neptun aus größerer Nähe zu untersuchen. Bis heute ist diese Sonde die einzige, die den Neptun genauer erkundet und neue Erkenntnisse über seinen Aufbau und seine Monde geliefert hat. Seither müssen die Wissenschaftler zur Beobachtung des Eisriesen auf das Weltraumteleskop Hubble zurückgreifen. Der Neptun ist einfach zu weit entfernt, um schnell mal eine Sonde loszuschicken.

Wissenschaftliche Aufgaben

Der Neptun bleibt fern und rätselhaft. Sein launisches Wetter lässt vermuten, dass es auf ihm gewaltige und langanhaltende Stürme – vergleichbar mit dem fast 300 Jahre alten Großen Roten Fleck auf dem Jupiter – gibt. Eine dunkle Zone im Süden des Neptuns, die etwa so groß ist wie die Erde, wurde von Voyager 2 aufgespürt und wird als Großer Dunkler Fleck bezeichnet. Spätere Versuche, diese Zone wiederzufinden, führten zu keinen schlüssigen Resultaten. Dafür hat Hubble in der Zwischenzeit einen anderen Fleck im Norden des Planeten entdeckt. Am Rand des Flecks scheint sich in die Atmosphäre geschleudertes Methangas abgekühlt und zu Eiskristallwolken verdichtet zu haben. Eine klare Zone ungefähr in der Mitte des Flecks könnte ein Fenster zu anderen Wolkenformationen bilden, die näher an der Oberfläche des Neptuns liegen. Inzwischen wurden sechs Stürme auf dem Neptun beobachtet, einige bei ihrer Entstehung. Sie scheinen gewaltig zu toben, ehe sie sich auflösen.

Bemannte Raumfahrt

Wettlauf ins All

Den Traum, das Weltall zu erkunden, hegt der Mensch schon fast so lange, wie er hoch zu den Sternen schaut. Doch bis tatsächlich Astronauten ins All gelangen konnten, vergingen Jahrhunderte mit Forschung, Planung und wissenschaftlichem Fortschritt. Der Wettlauf, einen Menschen in den Weltraum zu bringen, war nicht nur eine wissenschaftliche Aufgabe: Als in den 1950er- und '60er-Jahren der Kalte Krieg zwischen den USA und der UdSSR herrschte, wurde der Kampf um die Kontrolle des Welttraums zu einem wichtigen Teil des Strebens, mit Waffen und Informationen die Vorherrschaft zu erringen.

Nach dem Zweiten Weltkrieg pumpeten sowohl die UdSSR als auch die USA viel Geld und Expertenwissen in ihre Raumfahrtprogramme. Dabei bauten sie auf der Raketräger-technologie auf, die während des Krieges mit dem Ziel entwickelt worden war, Interkontinentalwaffen zu schaffen. Es ist schon etwas ironisch, dass diese Kriegswaffen zugleich die Mittel für das wohl größte friedliche Abenteuer lieferten – und zwar, den Menschen ins All zu befördern.

Anfangs konzentrierten sich die Amerikaner auf die Entwicklung von Düsenflugzeugen, die auch in den Orbit gelangen können sollten, doch die technologischen (und körperlichen) Anforderungen waren zu groß. Dann



© ANKORU/MAZOS/SHUTTERSTOCK

Sowjetische Postkarte zum Jahrestag des Raumflugs von Juri Gagarin



© A. ESMAN/SHUTTERSTOCK

Ausgestellte Sputnik I



Maßstabgetreue Nachbildung der Trägerrakete von Wostok 1, mit der Juri Gagarin als erster Mensch in den Weltraum gelangte.

setzen die USA und die UdSSR auf etwas Einfacheres: Sie wollten eine kleine Kapsel auf eine große Rakete setzen und diese ins All schießen. Die Rakete würde den erforderlichen Schub liefern, um der Schwerkraft der Erde zu entfliehen, und sich, nachdem sie ausgebrannt war, von der Kapsel lösen. In der Umlaufbahn angekommen, würde die Kapsel dann die Erde umrunden. Schließlich würden Bremsraketen die Kapsel für den Wiedereintritt in die Erdatmosphäre verlangsamen, sodass die Piloten landen könnten. So die Theorie, der Praxistest folgte später.

Erst 1957 gelang es einem Land, den Weltraum zu erreichen. Zwar hatten die

USA aufgrund ihres weiter entwickelten Atomprogramms die Nase vorn, doch die Sowjets schafften es zuerst in den Weltraum. Am 4. Oktober 1957 entsandte die UdSSR den ersten künstlichen Satelliten, Sputnik 1, ins All. Er kreiste fast drei Monate um die Erde, ehe er beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre verglühte. Im November desselben Jahres wurde ein zweiter Satellit, Sputnik 2, gestartet. An Bord waren wissenschaftliche Instrumente und die Hündin Laika, das erste Lebewesen, das vom Menschen gezielt ins All befördert wurde. Die USA lagen nicht weit zurück: Am 31. Januar 1958 entsandten sie den ersten Satelliten, Explo-

rer 1. Am 15. Mai 1958, startete dann der dritte Sputnik.

Doch das Rennen darum, wer als Erster einen Menschen ins All befördern (und heil wieder zurückbringen) würde, ging weiter. Am 12. April 1961 gewannen die Sowjets erneut: Mit der Wostok 1 wurde Juri Gagarin offiziell zum ersten Menschen im Weltraum. Er umrundete in 89 Minuten einmal die Erde und erreichte eine Höhe von 327 km. Die Siege der UdSSR verfehlten ihre psychologische Wirkung nicht, zumal der Kalte Krieg in vollem Gange war.

In der Tat war es ein knappes Rennen: Am 5. Mai 1961 gelangte Alan Shepard an Bord der Freedom 7 als erster Amerikaner ins All.

Wettlauf zum Mond

Frustriert über den Vorsprung des sowjetischen Raumprogramms entschieden sich die Amerikaner für einen Quantensprung. Nur 20 Tage nach dem ersten bemannten Raumflug der USA verblüffte Präsident John F. Kennedy am 25. Mai 1961 die Nation mit der Ankündigung, bis zum Ende des Jahrzehnts Amerikaner auf dem Mond landen zu lassen. Das ambitionierte, fast unmögliche Ziel sollte dem Land neue Hoffnung geben.

Zu diesem Zweck entwickelte die NASA ihr Apollo-Programm. Der Plan war, Teams aus je drei Astronauten in kleinen Kommandokapseln ins All zu schicken. Diese sollten oben auf leistungsstarke Saturn-Raketen montiert werden, deren Entwürfe vom Raketenwissenschaftler Wernher von Braun stammten. Zur Unterstützung der Apollo-Missionen wurde parallel das Gemini-Projekt gestartet. Die Zwei-Mann-Teams dieses Programms sollten Flugtechniken testen, die für die Mondmission nötig waren.

Befeuert wurden die Hoffnungen der Amerikaner durch einen weiteren Erfolg, als es John Glenn in der Friendship 7 am 20. Februar 1962 endlich gelang, mit Gagarin gleichzuziehen und die Erde zu umrunden. Doch die Sowjets legten wiederum im März 1965 eine nächste Premiere hin, als Alexei Leonow erstmalig einen Spaziergang im Weltraum machte. Zehn Minuten verbrachte er außerhalb seiner Raumkap-



Die Astronauten Neil Armstrong, Michael Collins und Edwin (Buzz) Aldrin (v. l. n. r.)

sel Woschod 2, nur mit einer Leine gesichert, schwebend im All. Fast drei Monate später zogen die USA mit Ed White nach, der die Raumkapsel Gemini 4 verließ und als zweiter Mensch einen Raumspaziergang machte. Etwa 20 Jahre später war die sowjetische Kosmonautin Swetlana Sawizkaja die erste Frau, die einen Weltraumausstieg unternahm.

Im Gegenzug verdoppelten die Teams des Apollo-Raumfahrtprogramms ihre Bemühungen, und die Entwicklungen gingen schnell voran, jedoch nicht ohne Verluste. Fast sechs Jahre nach Kennedys Ankündigung sollte am 21. Februar 1967 der erste Test in erdnaher Umlaufbahn mit dem Apollo-Kommando- und Versorgungsmodul stattfinden. Dazu kam es aber nicht, denn am 27. Januar brach bei Bodentests ein Feuer in der Kommandokapsel der Apollo 1 aus und drei Astronauten, darunter Ed White, kamen ums Leben. Nach diesem Rückschlag stand das Raumfahrtprogramm unter Druck und ab-

solvierte in den nächsten 18 Monaten mehrere erfolgreiche Starts. Am Weihnachtsabend 1968 wurden die Astronauten Frank Borman, Bill Anders und Jim Lovell an Bord der Apollo 8 zu den ersten Menschen, die den Mond umrundeten. Nach zwei weiteren Apollo-Sonderungsmissionen war man bereit für die Mondlandung.

Am 21. Juli schaute die ganze Welt gebannt zu, als die Crew der Apollo 11 das scheinbar Unmögliche vollbrachte. Während Michael Collins in der Kommandokapsel blieb, steuerten Neil Armstrong und Buzz Aldrin die Mondlandefähre Eagle zur Oberfläche des Erdtrabanten. Die Landung im Mare Tranquillitatis verlief nach Lehrbuch. Ein paar Minuten später verließ Neil Armstrong die Fähre und äußerte die unsterblich gewordenen Worte „Das ist ein kleiner Schritt für einen Menschen, aber ein großer Sprung für die Menschheit!“

Diesen bedeutenden Moment in der Geschichte wird niemand jemals vergessen, der ihn mitverfolgt hat.

Das Shuttle-Programm

Das Apollo-Programm wurde bis 1972 fortgesetzt. Insgesamt gab es sechs Mondlandungen, und zwölf Astronauten betreten die Mondoberfläche. Die Kosten der Apollo-Missionen lagen bei 25,4 Mrd. US\$, was einem heutigen Wert von etwa 150 Mrd. US\$ entspricht. Die Summe ist enorm und höher als die Gesamtkosten des Marshall-Plans für den Wiederaufbau Europas nach dem Zweiten Weltkrieg.

Um die Kosten der bemannten Raumfahrt zu deckeln, verschob die NASA ihren Schwerpunkt auf die Entwicklung einer wieder-

verwendbaren Raumfähre, die für viele Missionen eingesetzt werden konnte.

Das Space Shuttle, offiziell Space Transportation System (STS) genannt, begann seine Flugkarriere am 12. April 1981 mit dem Start der Columbia vom NASA-Weltraumbahnhof Kennedy Space Center in Florida.

Der Orbiter, der meist als Space Shuttle bezeichnet wurde, war der einzige Teil des „Aufbaus“, das die Reise in die Umlaufbahn unternahm. Die Feststoffraketen wurden abgetrennt und in den Atlantik gelenkt, wo sie zur Wiederverwendung geborgen wurden. Der Außentank war als Einziges nicht zur Wiederverwendung vorgesehen; er sollte beim Wiedereintritt verglühen. Ent-

Die Shuttle-Astronauten

Mit den Space Shuttles der NASA sind 355 Menschen aus 16 Ländern geflogen, davon 306 Männer und 49 Frauen. Story Musgrave ist der einzige Astronaut, der mit allen fünf Flügen geflogen ist, während die Astronauten Jerry Ross und Franklin Chang-Diaz die meisten Shuttle-Einsätze flogen (je sieben). Der älteste Mensch im All war John Glenn, der mit 77 Jahren 1998 an der Mission STS-95 der Discovery teilnahm, 36 Jahre, nachdem er als erster US-Amerikaner eine Erdumrundung absolviert hatte.

scheidend war, dass das Shuttle anders als die Apollo-Kapseln für die Rückkehr keine Fallschirme benötigte, sondern mit Flügeln wie ein Flugzeug landen konnte.

Zwischen dem ersten Start 1981 und der letzten Landung 2011 flog die Space-Shuttle-Flotte der NASA – bestehend aus den Raumfähren Columbia, Challenger, Discovery, Atlantis und Endeavour – 135 Einsätze, bei denen Raumspaziergänge unternommen, Satelliten ausgesetzt, geborgen und repariert und moderne Forschungsprojekte verwirklicht wurden. Im All wurde die bislang größte Konstruktion, die Internationale Raumstation, errichtet. Aber es kam auch zu Katastrophen: Am 28. Januar 1986 zerbarst die Challenger kurz nach dem Start, und die sieben Astronauten an Bord wurden getötet; am 1. Februar 2003 wurde die Columbia beim Wiederein-



Start des Space Shuttles Atlantis vom Kennedy Space Center

tritt zerstört, wobei alle Besatzungsmitglieder starben.

Das Shuttle-Programm war ein weiterer großer Fortschritt in der Geschichte des Raumflugs, aber auch hier waren die Kosten exorbitant: Jede einzelne Shuttle-Mission im Jahr 2010 kostete ca. 775 Mio. US\$. Trotz vieler Erfolge erwies es sich am Ende als zu teuer. Die letzte Space-Shuttle-Mission, STS-135, wurde mit der Raumfähre Atlantis durchgeführt und landete am 21. Juli 2011. Insgesamt hatten die NASA-Space-Shuttles 872906379 km zurückgelegt und dabei 21152-mal die Erde umrundet. Das gesamte Programm verschlang Schätzungen zufolge rund 113,7 Mrd. US\$ – ähnlich viel, wenn nicht gar mehr als die Apollo-Mondflüge. Aber auch die wissenschaftlichen Fortschritte waren enorm, und viele Alltagstechnologien wie Rettungsdecken, angereicherte Babynahrung, Prothesen, Laserbehandlung des Auges, Digitalkameras, Solarpaneele und Handstaubsauger sind Nebenprodukte des Verlangens, das All zu erkunden.

Die Raumfahrt heute

Heute sind Russland und die USA nicht länger die einzigen Länder, die Schritte ins All unternehmen: die EU, Indien, Japan und die VR China haben eigene Raumfahrtprogramme. 2019 konnte China den ersten Raumfahrtrekord aufstellen, als die Sonde Chang'e 4 als erstes Raumfahrzeug auf der dunklen Seite des Mondes landete.

Gleichzeitig befassen sich auch eine Reihe von Privatunternehmen mit Raumfahrtprojekten, darun-

ter Richard Bransons Virgin Galactic, das Weltraumflüge für Traveller anbieten will, und Elon Musks SpaceX, das an dem nächsten großen Schritt, einer Mission zum Mars, arbeitet.

Über eine Landung auf dem Mars wird seit dem Apollo-Programm gesprochen. Zwar sind die damit verbundenen technologischen Herausforderungen immens, aber mehrere Raumfahrtorganisationen und Privatunternehmen entwickeln derzeit Mars-Missionen. Die NASA gab an, in den 2030er-Jahren Menschen auf den Mars zu bringen, aber dieser Termin ist nicht in Stein gemeißelt.



Elon Musk bei einer SpaceX-Veranstaltung



Richard Branson von Virgin Galactic stellt das Raumflugzeug SpaceShip Two VSS Unity vor.

Die Internationale Raumstation

Der erste Vorschlag einer bemannten Raumstation stammt von 1869, als der Autor Edward Everett in seiner Novelle *Brick Moon* von einem künstlichen, der Schiffsnavigation dienenden Satelliten in der Erdumlaufbahn erzählte. 1923 sprach Hermann Oberth als Erster von einer „Raumstation“, einer radartigen Konstruktion, die als Sprungbrett für Reisen des Menschen zum Mond und zum Mars dienen sollte. 1952 veröffentlichte Wernher von Braun sein Konzept einer Raumstation in der Zeitschrift *Colliers*. Sie sollte einen Durchmesser von 76 m haben, in einer Umlaufbahn von 1600 km über der Erde kreisen und sich drehen, um durch die Zentrifugalkraft künstliche Schwerkraft zu generieren.

Die Sowjetunion startete 1971 mit *Saljut 1* die erste Raumstation der Welt – ein

Jahrzehnt, nachdem sie den ersten Menschen ins All geschickt hatte. Die USA brachten 1973 ihre erste Raumstation, das größere *Skylab*, in die Umlaufbahn; es beherbergte drei Crews, ehe es 1974 aufgegeben wurde. Russland konzentrierte sich weiterhin auf Raumfahrtmissionen von langer Dauer und schickte 1986 die ersten Module der Raumstation *Mir* ins All.

1998 wurden die ersten beiden Module der Internationalen Raumstation (ISS) gestartet und in der Umlaufbahn miteinander verbunden. Weitere Module folgten bald darauf, und die erste Besatzung zog 2000 ein.

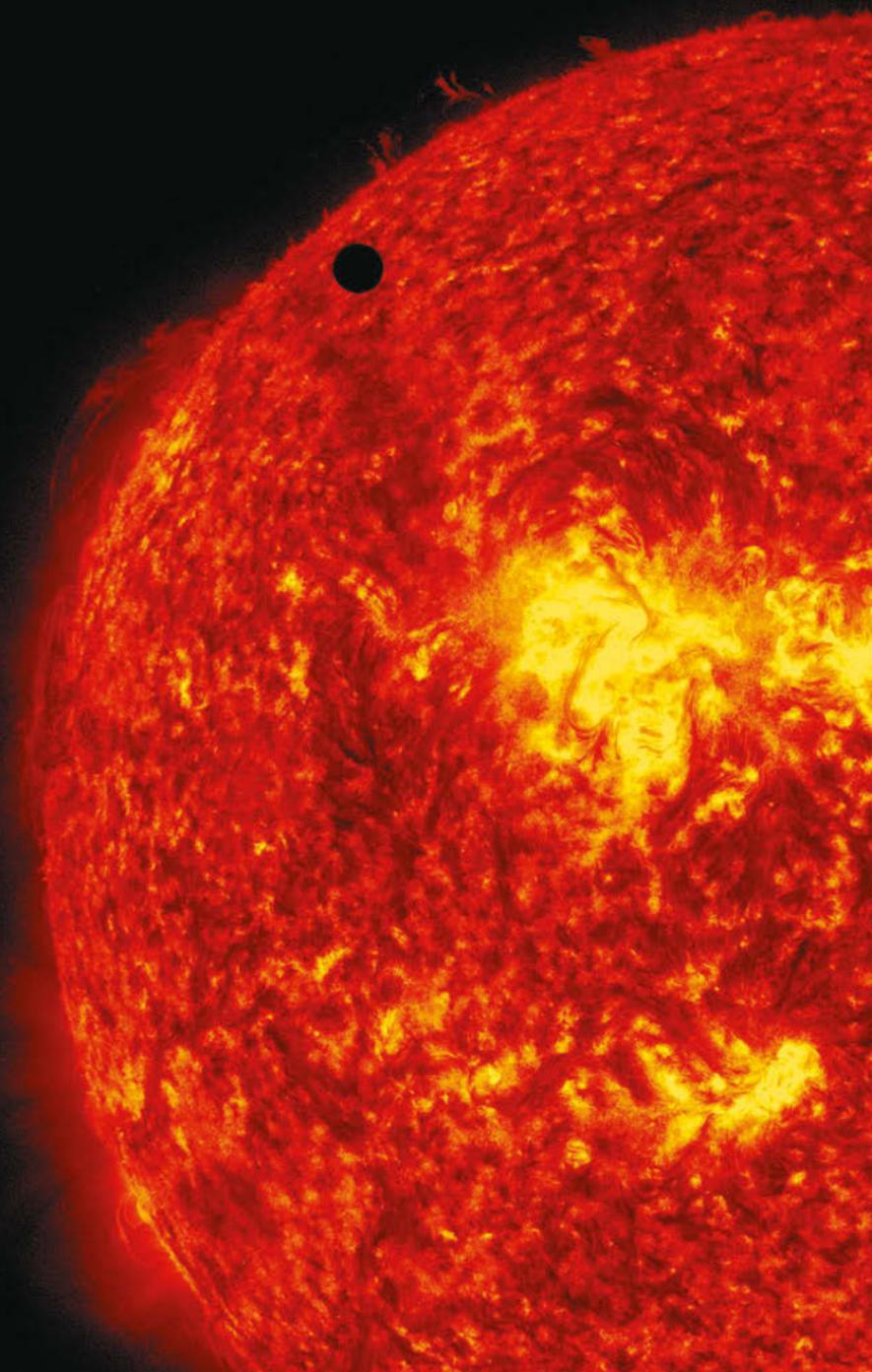
Die Station ist seit November 2000 ständig bewohnt. Eine internationale Besatzung von drei bis sechs Personen lebt und arbeitet hier bei einer Reisegeschwindigkeit von 8 km/s, bei der die Station die Erde etwa alle 90 Minuten umrundet. In 24 Stunden umkreist sie die Erde 16-mal und zieht ihre Bahn über

16 Sonnenaufgänge und Sonnenuntergänge. Die Station ist vom Boden aus mit bloßem Auge sichtbar. Die Astronauten und Kosmonauten haben bislang seit Dezember 1998 216 Weltraumspaziergänge zum Aufbau, der Wartung, der Reparatur und der technischen Ausrüstung der Station absolviert.

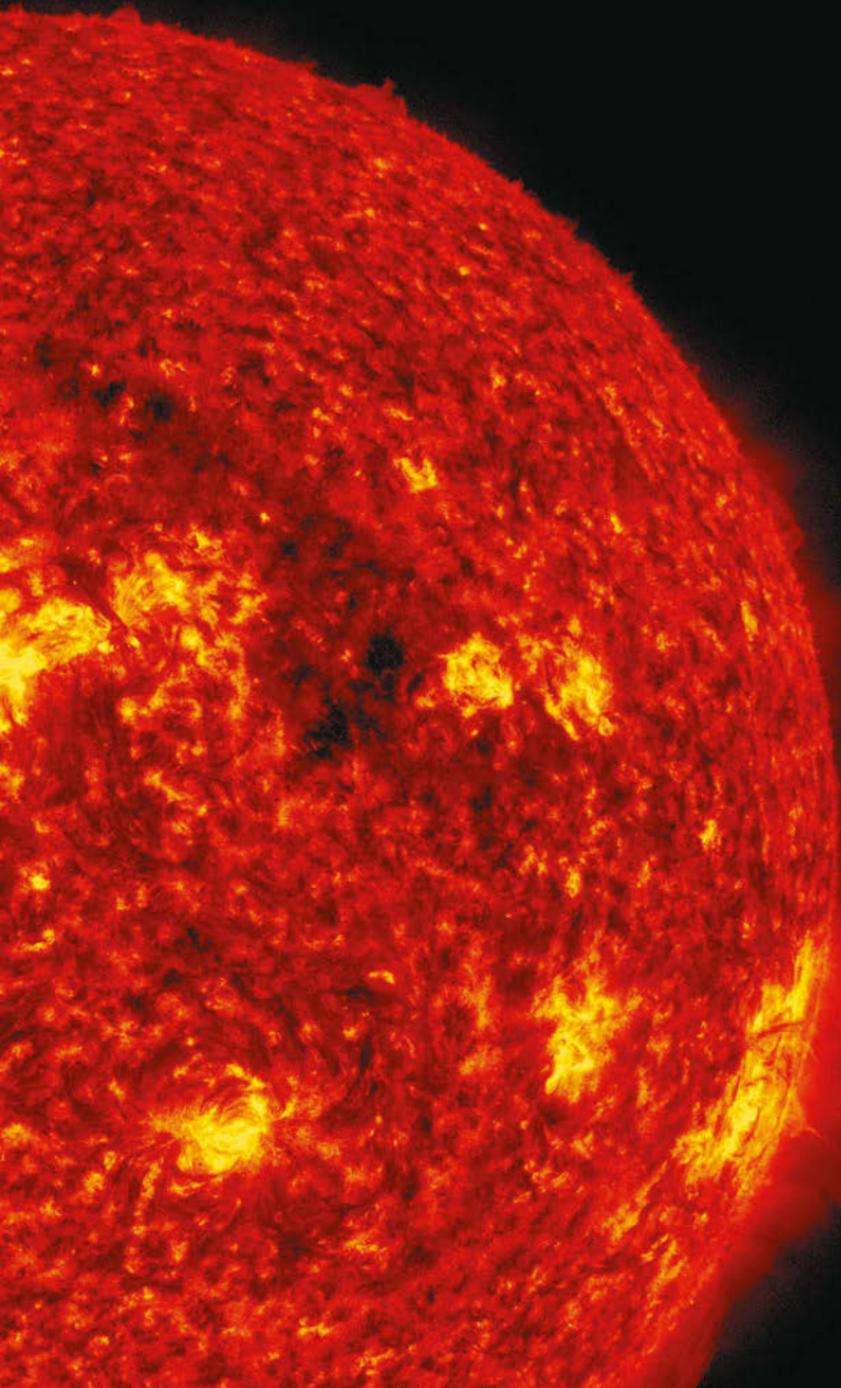
Die ISS hat eine Gesamtlänge von 109 m – nur etwas kürzer als ein Football-Spielfeld. Der Wohn- und Arbeitsbereich ist größer als ein Haus mit sechs Schlafzimmern (und umfasst sechs Schlafräume, zwei Bäder, einen Fitnessraum und ein Fenster mit Panoramablick). Um dem Abbau von Muskel- und Knochenmasse aufgrund der Schwerelosigkeit entgegenzuwirken, trainiert die Besatzung täglich mindestens zwei Stunden. Mit 665 Tagen stellte Peggy Whitson am 2. September 2017 den Rekord auf, die längste Lebens- und Arbeitszeit im All verbracht zu haben.



Die Astronautinnen Anne McClain und Serena Auñón-Chancellor bei der Arbeit auf der ISS



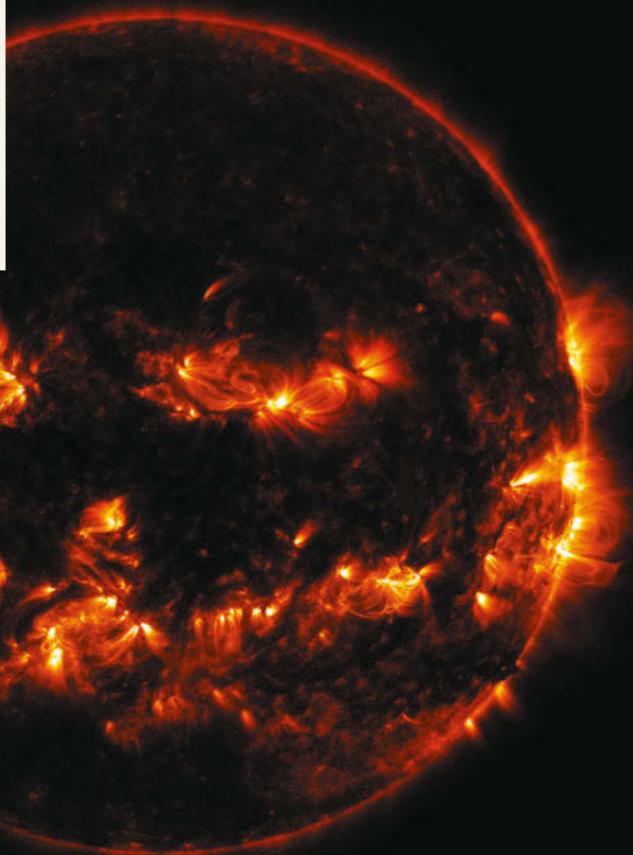
SONNE





ART DES HIMMELSKÖRPERS
Gelber Zwerg

RADIUS IM VERGLEICH
ZUR ERDE
109-fach



Aufnahme der Sonnenkorona

Überblick

Die Sonne ist ein „gelber Zwergstern“, eine Kugel aus glühenden Gasen, die das Zentrum des Sonnensystems bildet und die Quelle des Lebens auf der Erde ist.

Die Gravitation der Sonne hält das Sonnensystem zusammen und sorgt dafür, dass alles, vom größten Planeten bis zum winzigsten Teilchen in seiner Umlaufbahn bleibt. Elektrische Ströme auf der Sonne erzeugen ein Magnetfeld, das vom Sonnenwind durch das gesamte Sonnensystem befördert wird. Der Sonnenwind besteht aus elektrisch geladenen Gasen, die von der Sonne in alle Richtungen ausgestoßen werden. Sonne und Erde sind eng miteinander verbunden. Dank der Sonne

entstehen die Jahreszeiten, Meeresströmungen, das Wetter, Klima, Strahlengürtel und Polarlichter. Ohne die gewaltige Energie der Sonne wäre auf der Erde kein Leben möglich.

Die Sonne ist der Mittelpunkt des Sonnensystems und vereint 99,8% seiner Masse in sich. Sie hat weder Monde noch Ringe, wird aber von acht Planeten, mindestens fünf Zwergplaneten und Zehntausenden Asteroiden umkreist. Hinzu kommen noch 3 Billionen Kometen, die sich

alle im Griff ihrer Gravitation befinden. Die Sonne hat zwar eine besondere Bedeutung für die Erde doch in der Milchstraße gibt es Milliarden von Sterne, die ihr sehr ähneln.

Im November 2018 kam die NASA-Sonnensonde Parker Solar Probe der Sonne mit einem Abstand von 24 Mio. km so nah wie keine Sonde zuvor. Parker wird in der weiteren Mission mehrfach den Geschwindigkeitsrekord für Raum-

sonden brechen, und am Ende bis zu 690 000 km/h schnell werden. Ein spezielles Hitzeschild schützt die Sonde vor der Sonneneinstrahlung, die dadurch auf der der Sonne zugewandten Seite Temperaturen von über 1400 °C standhalten kann. Dazu verfügt sie über autonome Systeme, die ihre Sicherheit garantieren, wie z. B. Sonnenkollektoren, die in Sonnennähe automatisch weggeschwenkt oder eingefahren werden.

DURCHSCHNITTliche ENTFERNUNG VON DER ERDE

1 AE

ENTFERNUNG VOM ZENTRUM DER MILCHSTRASSE

26 000 Lichtjahre

IN DER NÄHE DES Orionarms

DAUER EINER UMDREHUNG

25 Erdentage am Äquator,
31 Erdentage an den Polen

ATMOSPÄRE

Wasserstoff, Helium

Top-Tipp

Keinen Schmuck tragen. An der Oberfläche kann es zwar um fast 15 Mio. °C kälter sein als im Inneren, aber mit rund 5500 °C ist es immer noch so heiß, dass Diamanten schmelzen können.

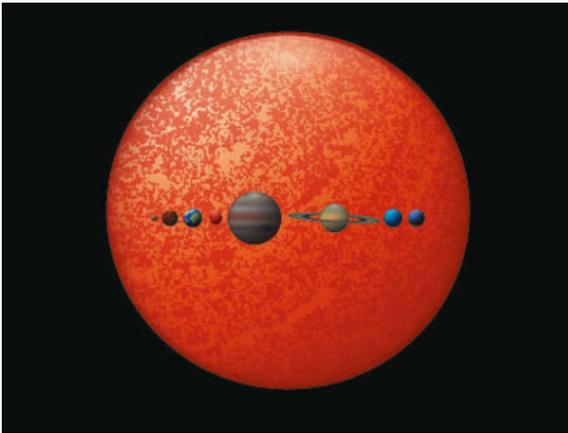
An- & Weiterreise



Für die Reise zur Sonne mit konventionellen Transportmitteln muss der Begriff „Langstreckenflug“ neu definiert werden. Mit einer durchschnittlichen Flugeschwindigkeit von 885 km/h würde ein modernes Flugzeug 19 Jahre brauchen, um den äußeren Rand der Sonne zu erreichen. Dann würde es im Inneren des Flugzeugs aber ziemlich heiß werden, um es vorsichtig auszudrücken.



Start der Sonnensonde Parker



Die Sonne im Vergleich mit den Planeten des Sonnensystems

Orientierung

Die Sonne ist kein besonders großer Stern. Viele andere Sterne sind wesentlich größer, einige von ihnen lassen unsere Sonne sogar winzig erscheinen: Der größte bisher bekannte Stern, VY Canis Majoris, ist 2000-mal so groß. Die Sonne ist aber trotzdem beeindruckend: Im Vergleich zu unserem Planeten ist sie ein Schwergewicht. Ihre Masse entspricht genau 332946 Erden, ihr Volumen sogar 1,3 Mio. Die Entfernung von der Erde zur Sonne (150 Mio. km) diene als Festlegung eines Längenmaßes, der „astronomischen Einheit“ (AE).

Der nächstgelegene stellare Nachbar der Sonne ist das Doppelsternsystem Alpha Centauri, das von dem Roten Zwerg Proxima Centauri umkreist wird, mit dem zusammen es also ein Dreifachsternsystem bildet. Dabei ist Proxima Centauri 4,24 Lichtjahre entfernt und die beiden Sterne Alpha Centauri A und B jeweils 4,37 Lichtjahre. Ein Lichtjahr ist die Entfernung, die das

Licht in einem Jahr zurücklegt, also 9,3 Billionen km.

Die Sonne mit all den Himmelskörpern, die sie umkreisen, gehört zur Milchstraße. Genauer gesagt befindet sie sich in einem „Spiralarm“ der Galaxis, dem sogenannten Orionarm, der von Sagittarius A* wegführt, einem Schwarzen Loch, das sich im Zentrum der Milchstraße befindet. Unser Sonnensystem umkreist dieses Zentrum, und obwohl es sich mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 724 000 km/h bewegt, benötigt es doch 230 Mio. Jahre für eine komplette Umrundung der Milchstraße.

Während sie um das Zentrum der Galaxis kreist, dreht sich die Sonne auch noch um sich selbst – bezogen auf die Ekliptikebene der Planeten mit einer Neigung von 7,25°. Da die Sonne kein massiver Körper ist, drehen sich einzelne Teile zudem mit unterschiedlicher Geschwindigkeit. An ihrem Äquator dauert eine Umdrehung der Sonne 25 Erdentage, an den Polen 36.

Die Sonne im Verhältnis zur Erde



-- Radius --

**109-fache
DER ERDE**



-- Masse --

**333 000-fache
DER ERDE**



-- Volumen --

**1,3-millionen-
fache
DER ERDE**



-- Schwerkraft --

**28-fache
DER ERDE**



-- Durchschnitts-
temperatur --

**171-fache
DER ERDE**



(0000)

-- Oberfläche --

**11,917-fache
DER ERDE**



-- Oberflächendruck --

**1/1000-fache
DER ERDE**



-- Dichte --

**25%
DER ERDE**



(0000)

-- Orbital-
geschwindigkeit --

**55-fache
DER ERDE**

Wie alle anderen Sterne ist die Sonne eine Gaskugel. Dieses Gas besteht zu 91% aus Wasserstoff und zu 8,9% aus Helium. Auf die Masse bezogen besteht die Sonne aus 70,6% Wasserstoff und 27,4% Helium.

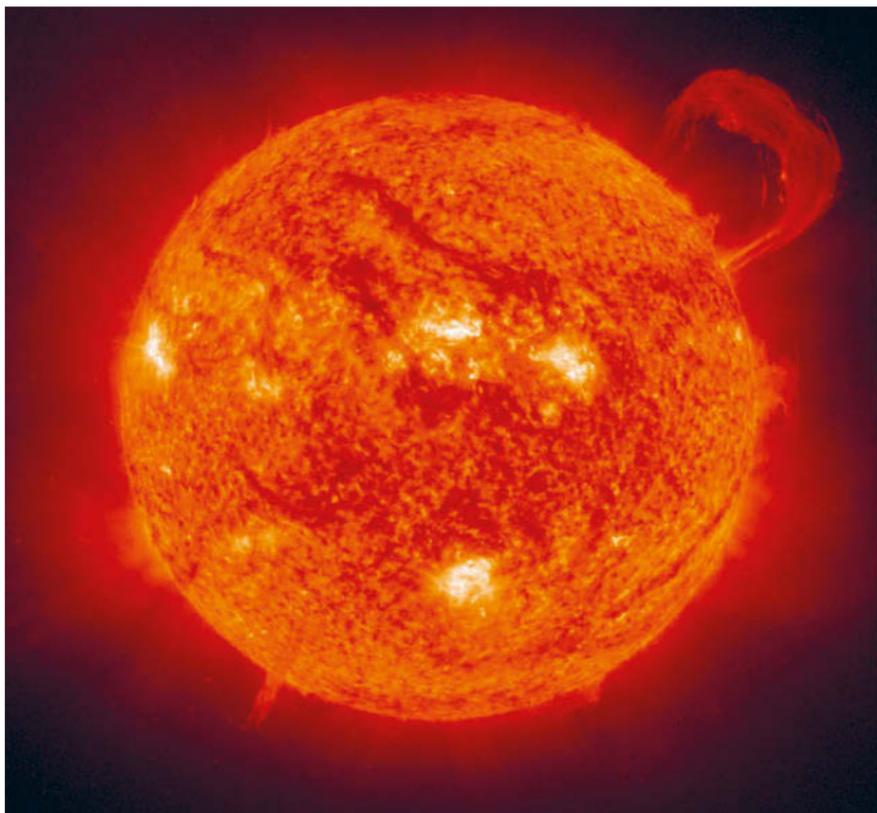
Die enorme Masse der Sonne wird von der Gravitation zusammengehalten. Deshalb herrschen im Inneren auch ein extrem hoher Druck und hohe Temperaturen. Die Sonne besteht aus sechs Zonen, von denen sich drei in ihrem Inneren befinden: von innen nach außen sind dies der Kern, die Strahlungs- und die Konvektionszone. Die

drei äußeren Zonen, die die sichtbare Oberfläche bilden, sind die Photosphäre, Chromosphäre und Korona.

Die Temperatur im Kern beträgt 15 Mio. °C und gewährleistet damit eine permanente thermonukleare Fusion. Dabei verschmelzen leichte Atome zu schwereren, wobei riesige Energiemengen freigesetzt werden. Im Kern der Sonne verschmelzen vor allem Wasserstoffatome zu Helium.

Die dabei erzeugte Energie gibt die Sonne in Form von Wärme und Licht wieder ab. Der Transport der Energie (in Form von Strahlung) vom Kern durch die

Strahlungszone bis zur Konvektionszone dauert 170 000 Jahre. In der Konvektionszone, wo die Temperatur auf unter 2 Mio. °C sinkt, steigt heißes Plasma (eine Flüssigkeit aus ionisierten Atomen) nach oben. An der sichtbaren Oberfläche der Sonne beträgt die Temperatur noch rund 5500 °C – die Temperatur ist aber nicht überall gleich. Auf der sichtbaren Oberfläche lassen sich manchmal dunkle Sonnenflecken beobachten. Dabei handelt es sich um Zonen mit extrem starken Magnetfeldern, die zu gewaltigen Sonnenereptionen führen können.



© COURTESY NASA/JSC/NAS

Eine Protuberanz aus relativ kühlem Plasma steigt über der Sonnenkorona auf.

Atmosphäre

Im Gegensatz zu den inneren terrestrischen Planeten hat die Sonne keine feste Oberfläche und damit auch keine Atmosphäre. Die Oberfläche der Sonne wird von der etwa 483 km dicken Photosphäre gebildet. Aus ihr dringt die Strahlung der Sonne heraus, die mit zunehmender Höhe heißer wird. Die Strahlung aus der Photosphäre erreicht nach acht Minuten die Erde in Form des für uns sichtbaren Sonnenlichts. Über der Photosphäre liegen die Chromosphäre und die Korona (Krone), die alle zu-

sammen die relativ dünne Atmosphäre der Sonne bilden. In dieser Zone sind auch die Sonnenflecken und Sonneneruptionen zu beobachten.

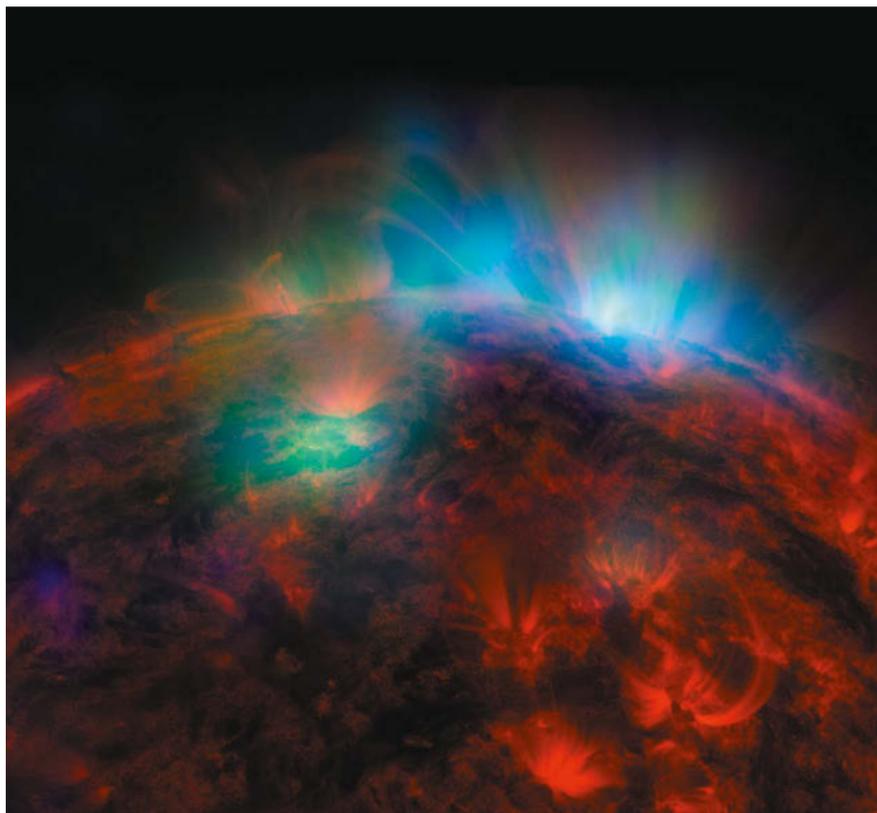
Wenn bei einer totalen Sonnenfinsternis der Mond die Photosphäre bedeckt, erscheint die Chromosphäre als rote Umrandung der Sonne. Die Korona ist dann als weiße Krone zu sehen, in der das nach außen strömende Plasma wie Blütenblätter wirkt.

Erstaunlicherweise nimmt die Temperatur in der Sonnenatmosphäre mit zunehmender Höhe zu, obwohl die Entfernung zum

Der Stoff des Lebens

Während ein Leben auf der Sonne völlig unmöglich ist, wäre das Leben anderswo ohne die Energie der Sonne nicht möglich. Das Licht der Sonne ist lebenswichtig für zahllose Organismen der Erde, die wiederum am Anfang der Nahrungskette stehen.

Kern immer größer wird. So kann die Temperatur des Gases in der Korona ein paar Millionen K betragen. Welche Prozesse es so stark aufheizen, ist unklar.



© COURTESY NASA/JPL CALTECH/ROSC

Auf diesem NuSTAR-Foto der NASA sind die von der Sonne abgehenden Röntgenstrahlen gut zu erkennen.