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, tippten 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.

lonely planet

Das Universum

Ein Reiseführer

Inhalt

Vorwort 6

Das Universum: eine Einführung 8
- Die Größe des Universums 10
- Moderne Beobachtungs-methoden 12
- Heutige Teleskope 14
- Anleitung zur Benutzung dieses Buchs 16
- Namensgebung 18
- Highlights 20

Sonnensystem 22

Durchgänge & Finsternisse 28

Die Planeten des Sonnensystems 30

Bemannte Raumfahrt . . . 48
- Wettlauf ins All. 48
- Wettlauf zum Mond. . . 50
- Das Shuttle-Programm. 51
- Die Raumfahrt heute 52
- Die Internationale Raumstation. 53

Sonne. 54
- Orientierung. 58
- Atmosphäre 60
- Die Heliosphäre 61
- Sonneneruptionen und was sich dahinter verbirgt 62
- Geschichte 64
- Die Sonne in der Kultur. 66

Merkur 68
- Orientierung. 72
- Magnetosphäre 73
- Geschichte 74
- Gestatten: BepiColombo 76
- Der Merkur in der Kultur. 77
- Caloris Planitia 79
- Pantheon Fossae 80
- Raditladi-Becken 81
- Rachmaninoff-Krater . 82
- Caloris Montes. 83

Venus 84
- Orientierung. 88
- Atmosphäre 90
- Geschichte 91
- Die Venus in der Kultur. 94
- Gestatten: Mariner . . . 95
- Gestatten: Magellan . . 96
- Zeichen von Leben . . . 98
- Baltis Vallis 101
- Maat Mons 102
- Alpha Regio 103
- Maxwell Montes. 104
- Aphrodite Terra 105

Erde 106
- Orientierung. 110
- Die Schichten der Atmosphäre 112
- Die Magnetosphäre. . .113
- Geschichte 114
- Die Beobachtung der Erde durch Satelliten: zehn NASA-Missionen, die zum besseren Verständnis des Planeten beitragen . . 120
- Mount Everest 124
- Challengertief 126
- Atacama-Wüste 128
- Mauna Kea 130
- Chicxulub-Krater 132
- Silfra-Spalte 133
- Death Valley 134
- Antarktis 136
- Great Barrier Reef. . . 138
- Amazonas-Regenwald 140
- Ngorongoro-Krater . . 142
- Chinesische Mauer . . 144

Mond 146
- Orientierung. 150
- Geschichte 152
- Der Mond in der Kultur. 156
- Gestatten: Apollo 11 . 158
- Der Lunar Orbital Gateway 160
- Mondfinsternis. 161
- Meer der Ruhe. 163
- Südpol-Aitken-Krater 164
- Kopernikus-Krater. . . 165
- Montes Apenninus . . 166
- Oceanus Procellarum .167

Mars 168
- Orientierung. 172
- Die Kartografierung des Mars: Von Meeren zu Kratern . . .173
- Die Marsmonde Phobos und Deimos 174
- Atmosphäre/ Magnetosphäre 177
- Geschichte 178
- Leben auf dem Mars: der Rote Planet in der Kultur. 182
- Der Mars als Forschungs-objekt. 186
- Gestatten: Curiosity . 188
- Gestatten: InSight – die jüngste NASA-Mission zum Mars 190
- Reise zum Mars – der Wagen wartet. 194
- Polkappen. 196

Tharsis Montes 198
Olympus Mons..... 200
Valles Marineris..... 201
Hellas Planitia 202
Bagnold-Dünenfeld.. 203
Gale-Krater..... 204
Elysium Planitia..... 206
Syrtis Major Planum. 208
Utopia Planitia..... 209
Vastitas Borealis 210

Jupiter 212
Orientierung..... 216
Atmosphäre 217
Geschichte 218
Großer Roter Fleck .. 222
Ringsystem..... 224
Oberfläche 225
Wolken..... 226
Ozeane 227
Magnetosphäre 228
Juno-Mission 230
Io 232
Europa..... 234
Ganymed..... 236
Kallisto 238

Saturn 242
Orientierung..... 246
Geschichte 248
Cassini-Mission 253
Saturnringe 254
Magnetosphäre des Saturns 256
Saturnoberfläche ... 257
Titan..... 258
Enceladus..... 260
Rhea, Dione & Tethys. 262
Iapetus 263
Mimas 264
Phoebe 265

Uranus..... 266
Orientierung..... 270
Geschichte 272
Oberfläche & Atmosphäre 275
Die Auroras des Uranus..... 276
4 Fakten zur Magnetosphäre 277
Ringsysteme..... 280
Miranda..... 284
Ariel..... 285
Umbriel..... 286
Oberon 287
Titania..... 288
Die Schäfermonde .. 289

Neptun..... 290
Orientierung..... 294
Magnetosphäre 295
Geschichte 296
Neptun in der Kultur..... 299
Neptuns Oberfläche & Atmosphäre 301
Neptuns Ringe..... 302
Proteus 303
Triton..... 304
Nereid 306
Neptuns andere Monde..... 308

Asteroiden, Zwergplaneten und Kometen: Nicht-planetarische Objekte des Sonnensystems ... 310

Asteroidengürtel & Asteroiden..... 312
Bennu 314
Ceres..... 316
Chariklo..... 317
EH1..... 318
Eros 320
Ida 321
Itokawa 322
Phaethon 323
Psyche..... 324
Vesta 325

Kuipergürtel 326

Zwergplaneten 328
Eris..... 330
Farout (2018 VG18).. 331
2015 TG387 („The Goblin“)..... 332
Haumea..... 333
Makemake 334
Pluto 336

Kometen 338
Borrelly 340
C/1861 G1 Thatcher . 341
Hale-Bopp..... 342
Halley..... 343
Hartley 2..... 344
ISON..... 345
'Oumuamua 346
Shoemaker-Levy 9 .. 347
Swift-Tuttle..... 348
Tempel 1 349
Tempel-Tuttle..... 350
Tschurjumow-Gerassimenko 351
Wild 2..... 352

Oortsche Wolke 353

Exoplaneten 354
2MASS J2126-8140.. 360
51 Pegasi b 361
55 Cancri 362
Barnards Stern b.... 364
CoRoT-7b..... 366
CVSO 30b und c 368
Epsilon Eridani..... 370
Fomalhaut b..... 372
Gliese 163 b, c und d 373
Gliese 176 b 374
Gliese 436 b..... 375
Gliese 504 b..... 376
Gliese 581 b, c und e. 378
Gliese 625 b..... 380
Gliese 667 Cb und Cc 381

Gliese 832 b und c . . 382
Gliese 876 b, c, d und e 383
Gliese 3470 b 384
GQ Lupi b 385
HAT-P-7 b 387
HAT-P-11 b 388
HD 40307 g 390
HD 69830 b, c und d 391
HD 149026 b 391
HD 189733 b 394
HD 209458 b 396
HIP 68468 b und c 398
Kapteyn b und c 399
KELT-9 b 400
Kepler-10 b und c . . . 402
Kepler-11 b bis g 403
Kepler-16 (AB)-b 404
Kepler-22 b 405
Kepler-62 b bis f 406
Kepler-70 b und c . . . 407
Kepler-78 b 408
Kepler-90 b 409
Kepler-186 b bis f . . . 410
Kepler-444 b bis f . . . 412
Kepler-1625 b und sein Exomond 413
Kepler-1647 (AB)-b . . 414
Lich System (PSR B1257+12) 416
Methusalem 418
Pi Mensae b und c . . . 420
Pollux b 421
Proxima b 422
PSO J318.5-22 424
Ross 128 b 425
TRAPPIST-1 426
TrES-2 b 428
WASP-12 b 430
WASP-121 b 432
Wolf 1061 b, c und d 434
YZ Ceti b, c und d . . . 437

Kosmische Objekte 438
Sternentstehung: Nebel und Protosterne 442
Hauptreihensterne . . 443
Riesensterne 444
Doppelsterne und Sternhaufen 445
Sternentode 446
Lebenszyklen von Sternen 450
Spektralklassifikation 453
1E 2259+586 454
3C 273 455
Achernar 456
Aldebaran 457
Algol 458
Almaaz 459
Alpha Centauri A 460
Alpha Centauri B 461
Altair 462
Antares 463
Arktur 464
Barnards Stern 465
Beteigeuze 466
Canopus 467
Capella 468
Cirrusnebel 469
Cygnus X-1 470
Deneb 471
Eta Carinae 472
Eulennebel 473
Granatstern 474
GRS 1915+105 475
Hantelnebel 476
HE 1256-2738 477
HE 2359-2844 478
Helixnebel 479
HLX-1 480
HV 2112 481
IGR J17091-3624 482
Irisnebel 483
Jupiters Geist 484
Kaliforniennebel 485

Katzenaugennebel . . 486
Keplers Supernova . . 487
Kes 75 488
Kleiner Hantelnebel . 489
Krebsnebel 490
Mira 491
MY Camelopardalis . 492
Nordamerikanebel . . 493
Omega Centauri 494
Orionnebel 495
Pferdekopfnebel 496
Plejaden 497
Polarstern 498
Prokyon 499
RCW 86 500
Regulus 501
Rigel 502
Ringnebel 503
Rosettennebel 504
Sagittarius A* 505
SAO 206462 506
SDSSJ0927+2943 . . . 507
SGR 1806-20 508
Sirius 509
Spica 510
Tabbys Stern 511
T Tauri 512
ULAS J1120+0641 . . . 513
UY Scuti 514
Vega 515
VY Canis Majoris 516
W40 517

Galaxien 518
Andromedagalaxie 522
Blackeye-Galaxie 525
Bodes Galaxie 526
Canis-Major-Zwerggalaxie 528
Centaurus A 529
Circinusgalaxie 530
Condor-Galaxie 531
Dreiecksgalaxie 532

Elliptische Sagittarius-Zwerggalaxie 533
Feuerradgalaxie 534
Große und Kleine Magellansche „Wolke“ 536
Große Spiralgalaxie.. 539
Hoags Objekt 540
Kaulquappengalaxie . 541
M77 542
M87 543
Malin 1..... 545
Markarian 231 546
NGC 1512 547
NGC 3370..... 548
Sculptor-Galaxie 549
Sombrero-Galaxie ... 550
Sonnenblumen-galaxie..... 551
W2246-0526 552
Wagenradgalaxie.... 554
Whirlpool-Galaxie ... 555
Zigarrengalaxie 557

Galaxien auf Kollisionskurs..... 558
Antennengalaxien ... 559
Arp 148 (Mayall’s Object).... 561
Arp 273 562
NGC 2207 & IC 2163. 563
NGC 2623..... 565
NGC 3256..... 566

Galaxienhaufen 567
Abell 1689..... 568
Bullet-Cluster..... 569
El Gordo 571
Fornax-Galaxien-haufen..... 572
Lokale Gruppe 574
Musket Ball Cluster.. 576
Norma-Galaxien-haufen..... 578
Pandora’s Cluster ... 579
Perseushaufen..... 581
Phoenix Cluster 583
Virgo-Galaxien-haufen..... 584

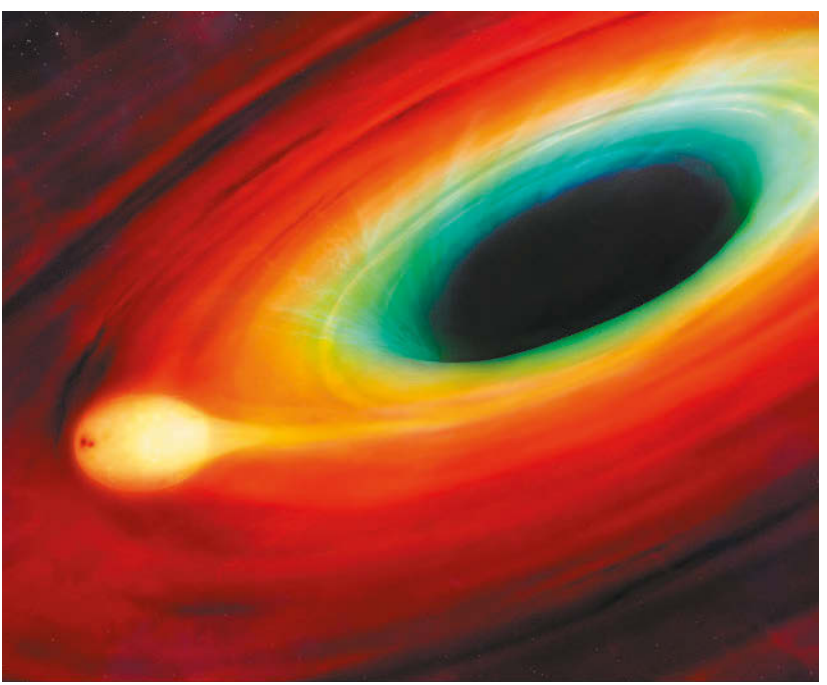
Glossar.....590

Register.....596

Bildnachweis.....605

Die Autoren..... 607

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

© DESIGN PICS INC / ALAMY STOCK PHOTO

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 veröffentlichen 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 Sternenstaub 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 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 dieses 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 Neptun. 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.

© MAVENVISION / 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 gruppierten 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.

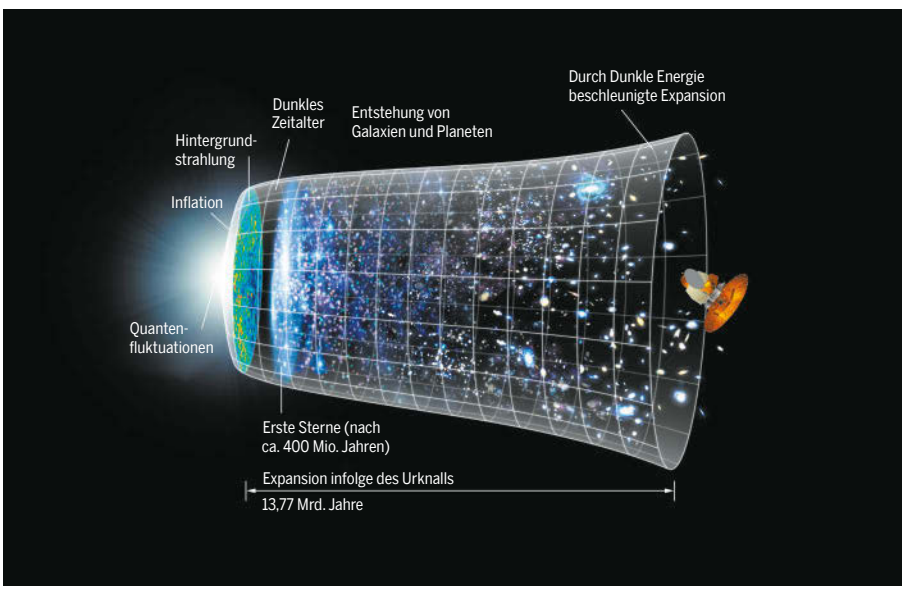
Im 3. Jh. v. Chr. fragte Aristarch von Samos, wie weit der Mond entfernt sei. Er konnte die Entfernung messen, indem er während einer Mondfinsternis den Schatten der Erde auf dem Mond beobachtete.

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.

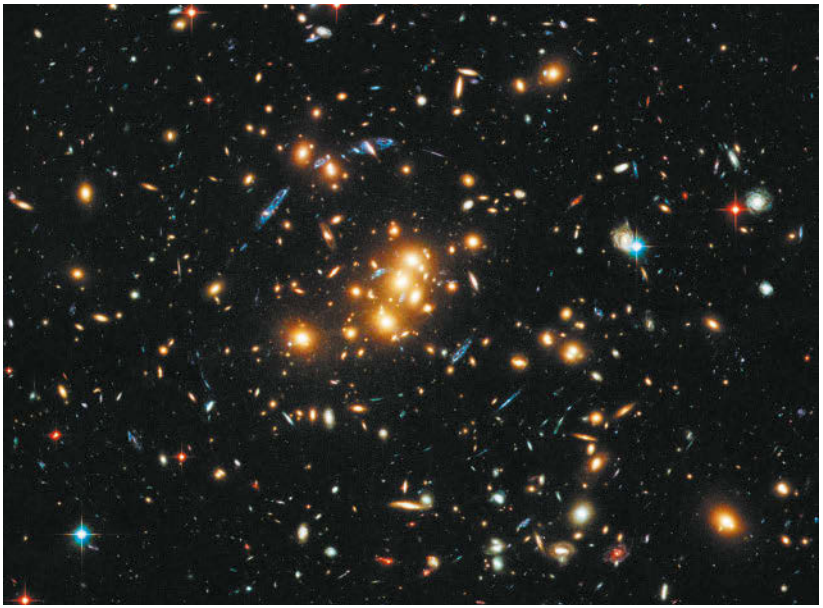
Dieses seltene Ereignis, der Venustransit, ereignete sich zuletzt am 8. Juni 2004. Durch ihn konnte die Entfernung der Erde von der Sonne berechnet werden – der Weg war geebnet, um die Abmessungen des gesamten Sonnensystems zu ermitteln.

Die Sonne mit ihren Planeten ist nur ein kleiner Teil unserer Galaxie. Die Milchstraße ist wie eine riesige Sternenstadt, 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/WMAP SCIENCE TEAM



Zeitlinie des Universums seit dem Urknall



© SCIENCE PHOTO LIBRARY / ALAMY STOCK PHOTO

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 Beobachtungs-methoden

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 CASPAR/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.

© JURGEN FALCHLE/ALAMY STOCK PHOTO

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.

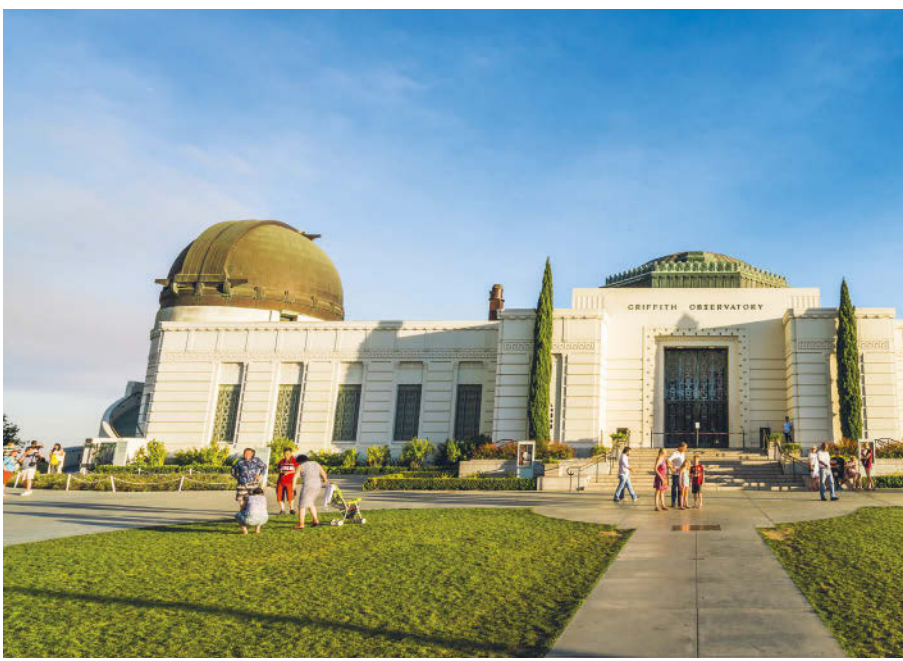
Seit das Hubble-Teleskop arbeitet, wurde eine Reihe weiterer Weltraumteleskope erfolgreich in die Umlaufbahn gebracht, die die Kenntnisse über das Universum vermehren sollen. Dazu gehört auch das Spitzer-Weltraumteleskop, das nach dem Mann benannt ist, dessen Idee ein neues Zeitalter der Teleskope und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

Heutige Teleskope

© LISSANDRA MELO/SHUTTERSTOCK

In aller Welt arbeiten Astronomen, Weltraumwissenschaftler 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-



© CHECUBUS/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

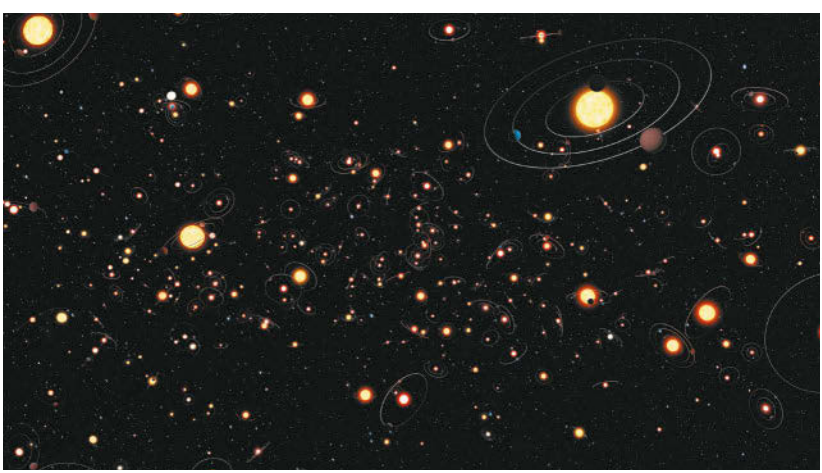
Astronomen gewinnen Erkenntnisse, indem sie das gesamte Frequenzspektrum des Lichts betrachten. Dies geschieht mit optischen und Radioteleskopen. Die Instrumente zur Datensammlung kämmen das ganze elektromagnetische Spektrum durch. Sichtbare Lichtstrahlen (das, was man sieht, wenn man mit bloßem Auge 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

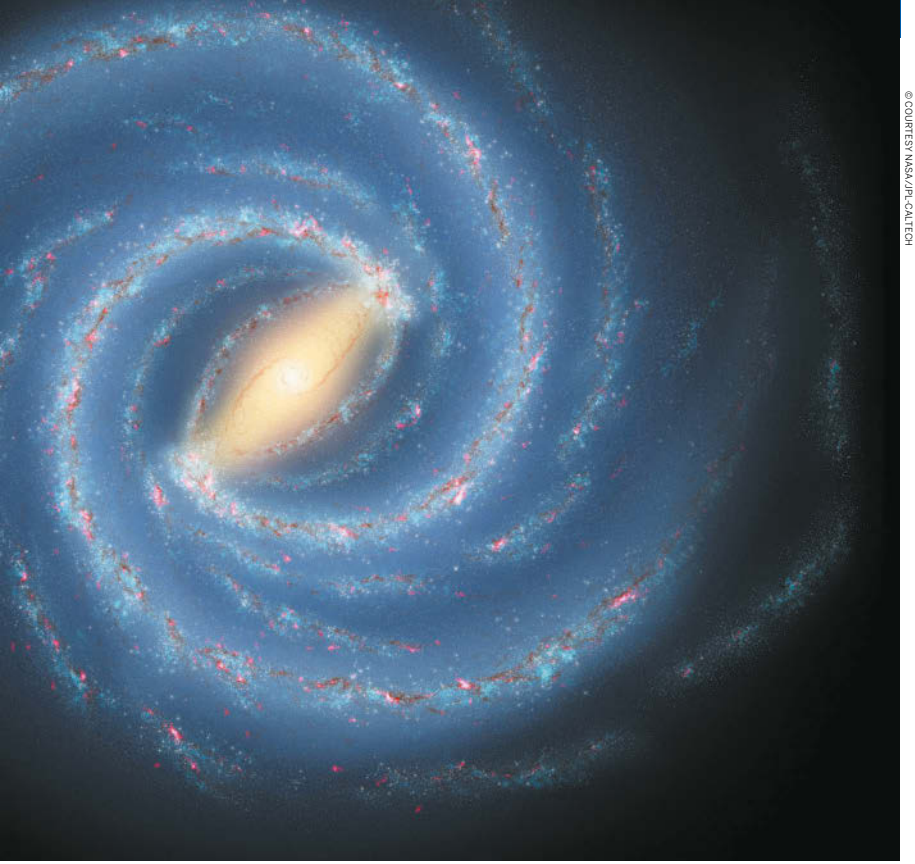
In diesem Buch geht es um etwas sehr Großes, entsprechend umfangreich ist es – und dabei notwendigerweise genauso unvollständig wie unser Wissen über das Universum. Astronomen erforschen nach wie vor mit sich ständig verbessernder Technologie das Universum und decken zuvor unbekannte Geheimnisse und 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 M. KORNMESSER (ESO)

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



© COURTESY NASA/JPL-CALTECH

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.

Namensgebung

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-

© GIULIO ERCOLANI/ALAMY STOCK PHOTO

© GL ARCHIVE/ALAMY STOCK PHOTO

Porträt des Astronomen Charles Messier

© SCIENCE HISTORY IMAGES / ALAMY STOCK PHOTO

Darstellung des Sternbilds Andromeda von 1661

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 Genitiv 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

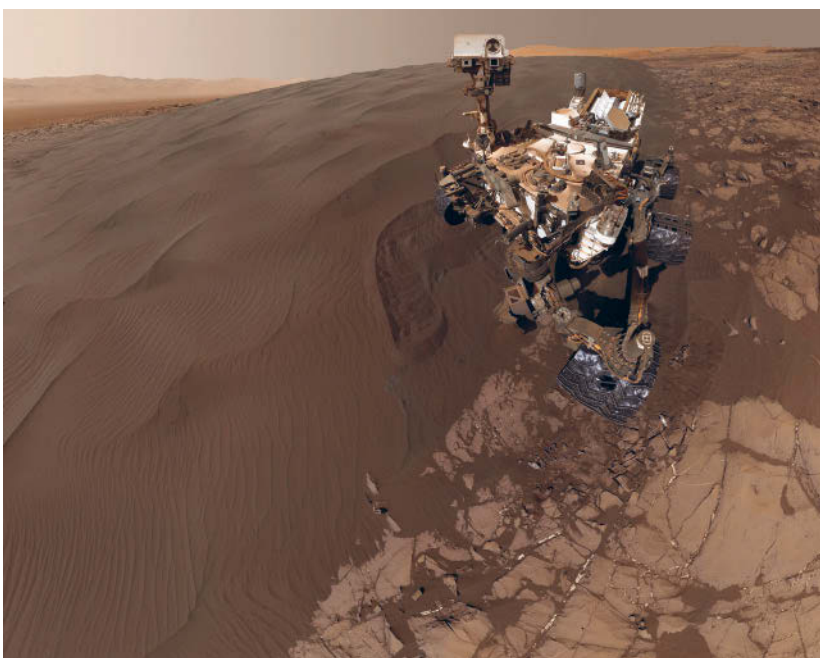
1 Im Universum mag die Sonne weder etwas Einmaliges noch etwas Besonderes sein, doch für Erdbewohner ist sie äußerst wichtig. Dieses Buch informiert über die Sonne und über das, was unterhalb ihrer Korona geschieht. Außerdem beleuchtet es die aktuellen Forschungen zu dem Stern, von dem das Leben auf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

© NASA IMAGES/SHUTTERSTOCK

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 ermöglichten.

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

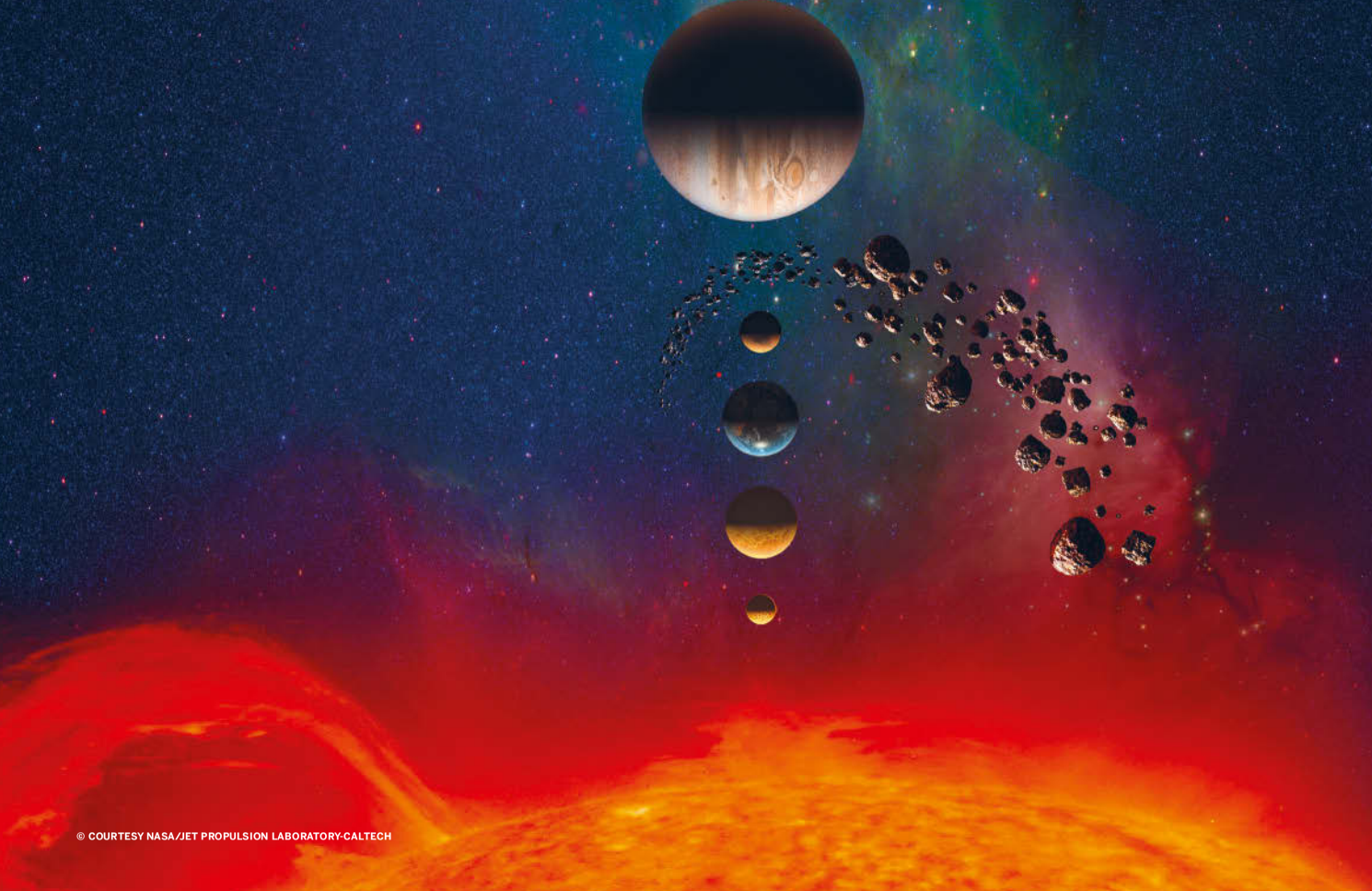
6 Es gibt noch mehr Arten von Sternen als den Gelben Zwerg, mit dem Erdbewohner am besten vertraut sind (weil die Sonne einer ist). Spektakuläre Explosionen wie Keplers Supernova hinterlassen fantastische Nebel. ULAS J1120+0641 ist ein ferner Quasar, dessen supermassereiches Schwarzes Loch eine intensive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

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

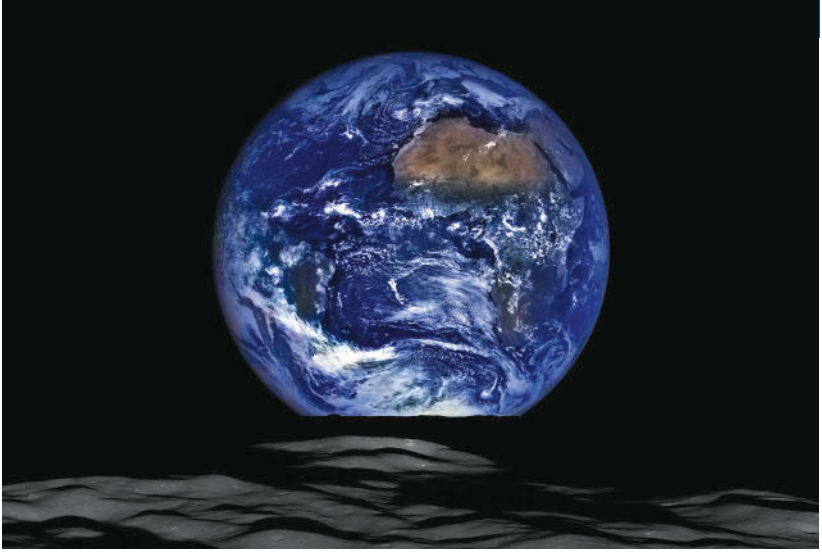
7 Die sieben gut sichtbaren Ringe des Saturns sind eines der größten Spektakel des Sonnensystems. Die Ringe sind bis zu 282 000 km von dem Planeten entfernt und bestehen aus Eis, Felsgestein sowie Staub. Von der Erde aus sind sie schon mit einem guten Fernglas zu sehen. Wie unglaublich muss ihr Anblick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



© COURTESY NASA/GODDARD/ARIZONA STATE UNIVERSITY

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.

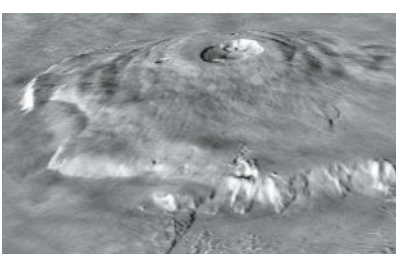
Wie wär's mit …

© COURTESY NASA/USGS

Auf dem aus Einzelbildern zusammengesetzten Marspanorama 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.

© PETE SEAWARD/LONELY 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 Eisriese 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.

© COURTESY NASA

Blick aus dem Weltall auf den Indischen Ozean

MEERE & OZEANE

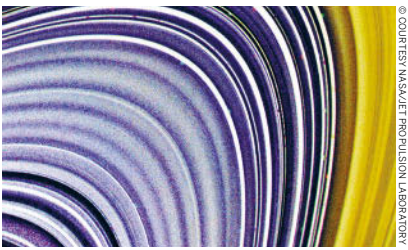
Erde Die Erdoberfläche ist zu erstaunlichen 70 % von Meerwasser bedeckt.
Europa Der Ozean unter der eisigen Oberfläche des Mondes ist ca. 60–150 km tief.
Titan Die Oberfläche des Titans ist von riesigen Meeren aus Methan bedeckt – die bestimmte Formen des Lebens enthalten könnten.
Callisto Wie auf seinem Brudermond Europa befindet sich unter der eisigen Oberfläche des Callistos wahrscheinlich ein Ozean mit Salzwasser.

© COURTESY NASA/JPL/UNIVERSITY OF ARIZONA

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 Uranusmondes 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.



© COURTESY NASA/JET PROPULSION LABORATORY

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.

© COURTESY NASA/JPL-CALTECH/SWRI/MSSS/GERALD EICHSTADT/SEAN DORA

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 Zyklone 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.

© MMOSURE PHOTOS/SHUTTERSTOCK

Totale Sonnenfinsternis

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 Himmelskörpers 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 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 (Umbra) 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