

Schlüsselideen der Astronomie

Vorschlag zu einer Definition der astronomischen Allgemeinbildung



Schlüssellideen der Astronomie

Vorschlag zu einer Definition der astronomischen Allgemeinbildung

Autoren der englischen Originalversion:

João Retrê (Institute of Astrophysics and Space Sciences, Portugal), Pedro Russo (Universität Leiden, Niederlande), Hyunju Lee (Smithsonian Science Education Center, USA), Eduardo Penteadó (Museu de Astronomia e Ciências Afins, Brasilien), Saeed Salimpour (Deakin University, Australien), Michael Fitzgerald (Edith Cowan University, Australien), Jaya Ramchandani (The Story Of Foundation), Markus Pössel (Haus der Astronomie, Deutschland), Cecilia Scorza (Ludwig Maximilians Universität München & Haus der Astronomie, Deutschland), Lars Lindberg Christensen (Europäische Südsternwarte, ESO), Erik Arends (Universität Leiden, Niederlande), Stephen Pompea (National Optical Astronomy Observatory, USA) und Wouter Schrier (Universität Leiden, Niederlande)

Design: Aneta Margraf-Druc (ScienceNow/Universität Leiden, Niederlande)

Layout: Aneta Margraf-Druc (ScienceNow/Universität Leiden, Niederlande) und Carmen Müllerthann (Haus der Astronomie / Office of Astronomy for Education)

Deutsche Version:

Herausgeber: Markus Pössel (Haus der Astronomie und Max-Planck-Institut für Astronomie)

Redaktion: Markus Nielbock und Jakob Staudé (Haus der Astronomie und MPIA)

Übersetzung: Norbert Vorstädt

1. deutsche Ausgabe, Oktober 2020 auf Basis der 2. englischen Ausgabe

ISBN: 978-94-91760-24-2

Lizenz: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



Danksagung

Dank an Ismael Tereno (Institute of Astrophysics and Space Sciences), Pedro Figueira (European Southern Observatory), und Sérgio Pereira (Institute of Astrophysics and Space Sciences), Monica Bobra (Stanford University), Piero Bienvenuti (Università di Padova) und Roy Bishop (Acadia University) Pereira für ihre Kommentare zu dieser Version des Werkes. João Retrê bedankt sich für die finanzielle Unterstützung durch die Portuguese Science and Technology Foundation über die Forschungsvorhaben IA2017-09- BGCT und UID/FIS/04434/2013. Pedro Russo bedankt sich für die Unterstützung durch das NAOJ Sokendai Projekt „Astronomy Literacy“, durchgeführt von Prof. Dr. Hidehiko Agata. Die NAOJ wird von der Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), Inc. in Zusammenarbeit mit der National Science Foundation betrieben. Unserer Dank gilt außerdem all denjenigen, die uns in der Review-Phase Rückmeldungen zu diesem Dokument gegeben haben.

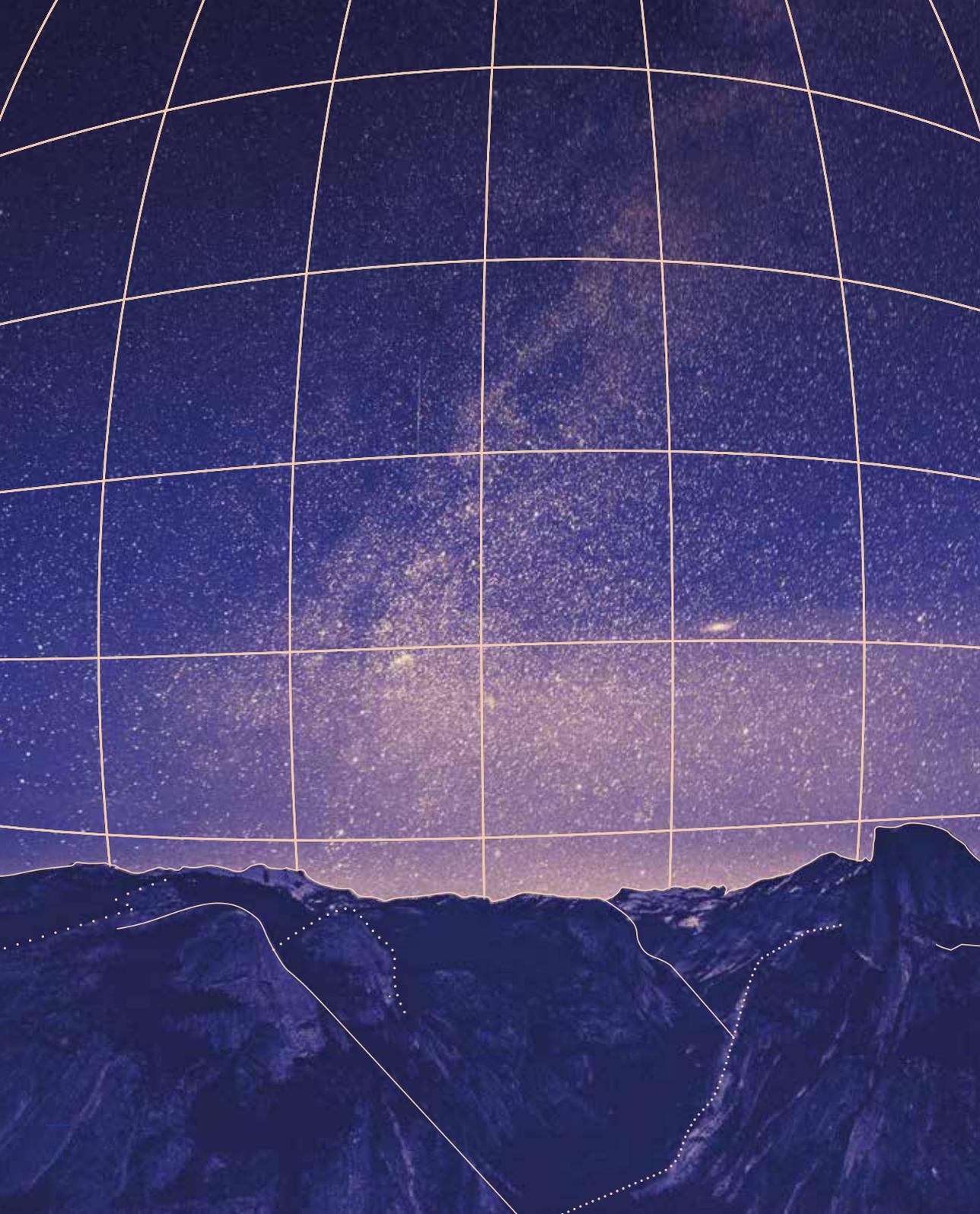
Astronomy Literacy Goals ist ein Projekt der Sternwarte Leiden, der Universität Leiden (Niederlande) und des Institute of Astrophysics and Space Sciences (Portugal) im Rahmen der IAU Kommission CI: Working Group on Literacy and Curriculum Development

IAU Kommission CI Astronomy Education and Development, President: Paulo Bretones

IAU CI Working Group Astronomy Literacy and Curriculum Development, Vorsitzender: Robert Hollow

Schlüssellideen der Astronomie ist ein Projekt des IAU Office of Astronomy for Education





Inhalt

06	Schlüsselideen
08	Einführung
10	Eine kurze Einführung in die Schlüsselideen der Astronomie <i>von Pedro Russo</i>
12	Überblick über die Schlüsselideen
18	<i>Die Astronomie ist eine der ältesten Wissenschaften</i>
22	<i>Astronomische Phänomene sind Teil unseres Alltags</i>
26	<i>Der Nachthimmel ist vielfältig und in steter Veränderung begriffen</i>
30	<i>Astronomie ist eine Wissenschaft, welche die Himmelskörper und Vorgänge im Universum untersucht</i>
34	<i>Die Astronomie profitiert von der technischen Entwicklung und stimuliert sie zugleich</i>
38	<i>Kosmologie ist die Wissenschaft, die das Universum als Ganzes untersucht</i>
44	<i>Wir leben auf einem kleinen Planeten im Sonnensystem</i>
48	<i>Wir bestehen alle aus Sternenstaub</i>
54	<i>Es gibt hunderte von Milliarden Galaxien im Universum</i>
60	<i>Wir sind vielleicht nicht allein im Universum</i>
64	<i>Wir müssen die Erde, unsere einzige Heimat im Kosmos, bewahren</i>

Schlüsselideen

1

Die Astronomie ist eine der ältesten Wissenschaften

2

Astronomische Phänomene sind Teil unseres Alltags

3

Der Nachthimmel ist vielfältig und in steter Veränderung begriffen

4

Astronomie ist eine Wissenschaft, welche die Himmelskörper und Vorgänge im Universum untersucht

5

Die Astronomie profitiert von der technologischen Entwicklung und stimuliert sie zugleich

6

Kosmologie ist die Wissenschaft, die das Universum als Ganzes untersucht

7

Wir leben auf einem kleinen Planeten im Sonnensystem

8

Wir bestehen alle aus Sternenstaub

9

Es gibt hunderte von Milliarden Galaxien im Universum

10

Wir sind vielleicht nicht allein im Universum

11

Wir müssen die Erde, unsere einzige Heimat im Kosmos, bewahren

Einführung

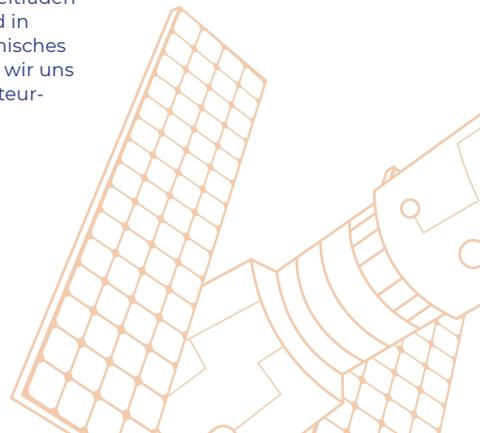
Astronomie für alle.

Dies ist das Motto der Abteilung des Office for Astronomy Outreach der Internationalen Astronomischen Union (IAU). „Alle“ ist ein dehnbarer Begriff, wenn es um die Definition einer Gesellschaft und ihrer Gruppierungen geht. Auch das Wort „Astronomie“ als Fachgebiet ist weit gefasst. Dieses Projekt „Schlüsselideen der Astronomie“ geht konkret der Frage nach: Was sollten Bürger*innen des Planeten Erde über Astronomie wissen?

Als Ergebnis verschiedener Diskussionen, Treffen, Workshops, Präsentationen, Tele-Konferenzen und Briefwechsel schlagen wir in diesem Dokument eine Reihe von grundlegenden Aussagen der Astronomie vor, als Vorschlag für eine Definition der astronomischen Allgemeinbildung. Das Dokument hält grundlegende Erkenntnisse und damit verbundene Konzepte der Astronomie fest, die alle Bürger*innen dieses Planeten kennen sollten.

Schlüsselideen der Astronomie baut auf dem bahnbrechenden Projekt 2061 der American Association for the Advancement of Science (AAAS) auf. Das AAAS-Projekt 2061 begann im Jahr 1986, also in dem Jahr, als der Halleysche Komet nahe an der Erde vorbeizog. Die AAAS wollte wissen, was die Beziehung von Kindern zu unserer Welt beeinflusst. Würde die Wiederkehr des Kometen in diesem Jahr einen Einfluss auf die Kinder haben, die 1986 in die erste Klasse kamen? Welche wissenschaftlichen und technologischen Veränderungen würden sie während ihres weiteren Lebens wohl erleben? Wie kann Bildung sie auf diese Welt vorbereiten, sie zu kritischem und unabhängigem Denken anregen und ihnen ein interessantes, verantwortungsvolles und produktives Leben in einer zunehmend von Wissenschaft und Technologie geprägten Gesellschaft ermöglichen? *Schlüsselideen der Astronomie* beschäftigt sich auch mit den Themen anderer wissenschaftlicher Disziplinen und Projekte, insbesondere mit Bildungsgrundlagen der Klima- und Geowissenschaften und der Ozeanografie, sowie mit den Grundkenntnissen in den Naturwissenschaften allgemein.

Schlüsselideen der Astronomie stellt dazu elf grundlegende Konzepte der Astronomie vor, jeweils durch eine Reihe wichtiger zugehöriger Aussagen und weiterführender Informationen konkretisiert. Das Dokument richtet sich insbesondere an Pädagog*innen und Astronom*innen. Es kann als Leitfaden für die Themenauswahl bei ihrer Lehrtätigkeit, für Fortbildungen und in der Öffentlichkeitsarbeit dienen. Dabei handelt es sich um ein dynamisches Dokument, das sich ständig fortentwickeln soll. Insbesondere freuen wir uns über jegliche Kommentare und Anmerkungen von Berufs- und Amateur-astronom*innen sowie von Pädagog*innen.



Die nächsten Schritte

In einem nächsten Schritt soll dieses Dokument im Rahmen eines Forschungsprojekts systematisch überprüft werden. Dieser Prozess soll sicherstellen, dass es möglichst exakt widerspiegelt, was Expert*innen als astronomische Allgemeinbildung einschätzen. Anschließend gibt es verschiedene Möglichkeiten, auf den Schlüsselideen aufzubauen: mit der Entwicklung weiterführender Lehrpläne, mit Prüfungsmaterialien, um das Verständnis der Schlüsselideen zu prüfen, mit Sammlungen geeigneten Unterrichtsmaterials und von Materialien für die Fortbildung von Lehrer*innen sowie mit Informationen für Entscheidungsträger*innen.

Der strategische Plan der IAU für den Zeitraum 2020 bis 2030 rückt die astronomische Aus- und Weiterbildung an eine zentrale Stelle der astronomischen Aktivitäten. Die IAU hat sich zum Ziel gesetzt, die Astronomie im Bereich der schulischen Ausbildung voranzutreiben. Wir hoffen, dass dieses Dokument zu diesem Ziel beiträgt und einen verlässlichen Rahmen für die astronomische Schulbildung liefert.

Vorwort zur deutschen Ausgabe

von Markus Pössel

Englisch mag die Sprache der astronomischen Wissenschaft sein; im Bildungsbereich dagegen muss ein Dokument, das weite Verbreitung anstrebt, in der Landessprache verfügbar sein. Wir freuen uns daher, für den deutschsprachigen Raum eine deutsche Version zur Verfügung stellen zu können. Den größten Verdienst daran hat Norbert Vorstädt, der das Dokument als Ganzes übersetzt hat.

In Deutschland ist die Astronomie derzeit nur in einigen Bundesländern Teil der Lehrpläne. Aber auch jenseits astronomischen Fachunterrichts kann die Astronomie Wirkung entfalten. Das große Interesse, das zahlreiche Schüler*innen ihr entgegenbringen, macht die Astronomie zu einem idealen Einstieg in die sogenannten MINT-Fächer, nämlich Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik. Die hier vorliegende Sammlung von Schlüsselideen ist ein guter Ausgangspunkt dafür, darüber nachzudenken, wie sich dieser Vorteil der Astronomie auch im deutschsprachigen Raum noch besser nutzen lässt.



Eine kurze Einführung in einige Schlüsselideen der Astronomie¹

von Pedro Russo

Die Astronomie beschäftigt sich mit dem Ursprung und der Entwicklung des Universums und von allem, was sich darin befindet. Diese Definition erscheint zunächst trivial, doch das Universum ist gewaltig groß und enthält faszinierende Himmelsobjekte in allen Größen, Formen und jeden Alters.

1. Ursprünglich erschienen im portugiesischen Nachrichtenmagazin Visão, 3. Januar 2012

Als Teil der kulturellen und wissenschaftlichen Menschheitsgeschichte hat die Astronomie unser Denken und unsere Sichtweise auf die Welt und unseren Ort im Universum bereits mehrfach revolutioniert. In der Vergangenheit wurden Fortschritte in der Astronomie häufig zu praktischen Zwecken genutzt, wie etwa zur Zeitmessung und zur Navigation. Heute sind die Ergebnisse der wissenschaftlichen und technologischen Entwicklungen der Astronomie und ihrer angrenzenden Gebiete zu wichtigen Bestandteilen unseres Alltags geworden: Computer, Kommunikationssatelliten, Navigationssysteme, Sonnenkollektoren, WiFi und viele andere technische Anwendungen.

Wie jede andere Wissenschaft erzielt die Astronomie Fortschritte durch die Ansammlung von Wissen. Manchmal wird der stetige Fortschritt durch plötzliche technologische Durchbrüche oder neue Denkmodelle beschleunigt – etwa durch den revolutionären Durchbruch der heliozentrischen Sicht auf das Sonnensystem oder das Urknall-Modell für die Entstehung und Entwicklung des Universums. Vor rund 14 Milliarden Jahren war das neugeborene „Universum“ unvorstellbar klein und heiß. Eine plötzlich einsetzende, dann kontinuierlich fortgesetzte Expansion und die damit einhergehende Abkühlung führten zur Bildung der grundlegenden Bausteine atomarer und subatomarer Teilchen, aus denen die Galaxien, Sterne, Planeten und letztlich das Leben entstanden. Die Astronom*innen vermuten aufgrund der bislang vorliegenden Daten, dass die Expansion des Universums hauptsächlich durch eine hypothetische Form von Energie angetrieben wird, Dunkle Energie genannt.

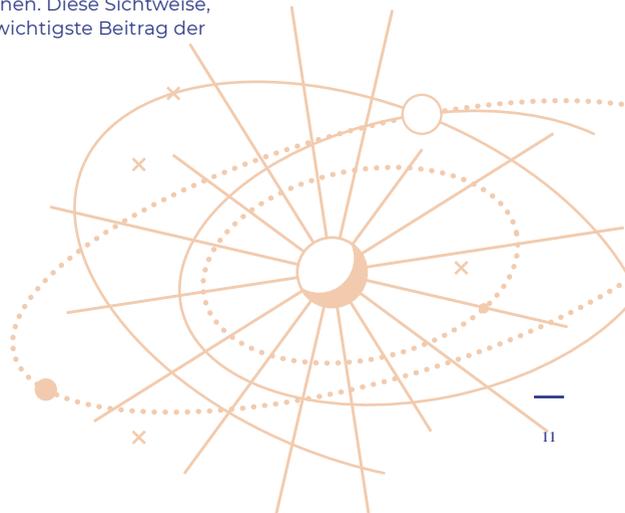
Schauen wir in einer dunklen Nacht zum Himmel, dann sehen wir ein helles Band, das sich von Horizont zu Horizont erstreckt. Dieses Band und alle Sterne, die wir sehen, gehören zu der Galaxie in der wir leben, der Milchstraße. Galaxien bilden sich oft in langgestreckten filamentartigen Gruppen oder in Klumpen: Ansammlungen von Inseln in der gewaltigen Leere des Universums. Unsere Galaxie enthält Hunderte Milliarden Sterne, von denen die Sonne nur

ein ganz gewöhnlicher Vertreter ist, so anonym wie ein Sandkorn am Strand. Diese Sterne umrunden, den Gesetzen der Gravitation folgend, das Zentrum der Milchstraße, in dem ein massereiches Schwarzes Loch residiert. Der „Ozean“ des Universums enthält zahlreiche andere Sternensinseln; unsere ist nur eine unter Hunderten von Milliarden anderer Galaxien.

Obwohl sie ein relativ durchschnittlicher Stern ist, genoss die Sonne bis vor kurzem eine Sonderstellung für uns Menschen: Sie war der einzige Stern, von dem wir wussten, dass er von Planeten umkreist wird. Heute dagegen kennen wir tausende Sterne unserer nahen galaktischen Umgebung, die ebenfalls von Planeten umlaufen werden. Jene fernen Planeten werden Exoplaneten genannt. Man schätzt, dass mehr als 20% aller sonnenähnlichen Sterne von Planeten umkreist werden – und einige dieser Planeten dürften der Erde ähneln: Sie sind relativ klein und fest wie die Erde und umrunden ihren Zentralstern in einem Abstand, der die Existenz flüssigen Wassers und somit vielleicht sogar von Leben ermöglicht.

Doch woraus setzt sich das Universum zusammen? Alles was wir sehen – Planeten, Sterne und Galaxien – besteht aus Materieteilchen wie Protonen, Elektronen, Neutronen und Quarks (zusammenfassend „baryonische Materie“ genannt). Doch es gibt noch etwas anderes, etwas Gewaltiges, Fremdartiges und Rätselhaftes, von dem kein Mensch genau sagen kann, was es ist. Man sollte annehmen, dass die Sterne das Zentrum ihrer Galaxien in ähnlicher Weise umkreisen wie die Planeten unsere Sonne: Die sonnennächsten von ihnen bewegen sich schneller als die weiter außen umlaufenden Planeten. Doch dem ist nicht so. Die meisten Sterne umkreisen das Zentrum ihrer Galaxie mit mehr oder weniger derselben Geschwindigkeit. Es muss also neben der leuchtenden, stark zu den galaktischen Zentren hin konzentrierten Materie auch eine viel weitläufiger verteilte, unsichtbare Komponente geben, welche die Sterne in dieser Weise ihre Bahnen ziehen lässt. Astronom*innen sagen dazu „Dunkle Materie“. Man nimmt an, dass wir nur einen kleinen Teil der im gesamten Universum existierenden Materie sehen können. Alles andere konnte noch nicht direkt beobachtet werden und ist noch weitgehend unerforscht.

In der Astronomie geht es nicht nur um wissenschaftliche Fortschritte oder technische Anwendungen. Sie gibt uns auch die Möglichkeit, unseren begrenzten Horizont zu erweitern, die Schönheit und Erhabenheit der Welt zu entdecken, und unseren eigenen Platz darin zu erkennen. Diese Sichtweise, gemeinhin „kosmische Perspektive“ genannt, ist der wichtigste Beitrag der Astronomie für die Menschheit.



Überblick über die Schlüsselideen



1

Die Astronomie ist eine der ältesten Wissenschaften

- 1.1 Die Beobachtung des Himmels und des Laufs von Sonne und Planeten gehörten zu den ersten Versuchen, die Welt zu verstehen
 - 1.2 Frühe Kulturen sahen Figuren am Sternenhimmel
 - 1.3 Astronomie hat künstlerische Darstellungen in den verschiedenen Kulturen inspiriert und beeinflusst
 - 1.4 Die Astronomie lieferte die Werkzeuge zur Zeitmessung, insbesondere für die Landwirtschaft
 - 1.5 Die Astronomie war früher wichtig für die Navigation
 - 1.6 Die Astronomie unterscheidet sich von der Astrologie durch die Anwendung wissenschaftlicher Methoden
 - 1.7 Einige frühe Kulturen glaubten, die Erde sei der Mittelpunkt des Universums
 - 1.8 Die Jahrhunderte dauernde kopernikanische Wende rückte die Sonne anstatt der Erde in die Mitte des Sonnensystems
 - 1.9 Vor über 400 Jahren führte Galileo Galilei die ersten teleskopischen Beobachtungen der Himmelskörper durch
 - 1.10 Der Planet Erde hat annähernd Kugelform, was schon seit Jahrtausenden auf vielfältige Weise dargestellt wurde
- 

2

Astronomische Phänomene sind Teil unseres Alltags



- 2.1 Tag und Nacht entstehen durch die Drehung der Erde um ihre Achse
- 2.2 Die Jahreszeiten entstehen durch die Neigung der Erdachse und die Bewegung der Erde um die Sonne im Laufe eines Jahres
- 2.3 Wir sehen im Laufe eines Mondzyklus unterschiedlich orientierte Mondphasen
- 2.4 Finsternisse entstehen, wenn Erde, Sonne und Mond in einer Linie stehen
- 2.5 Die Gezeiten auf der Erde sind eine Folge der Schwerkraft, die von Sonne und Mond ausgeübt wird
- 2.6 Sonnenlicht ist lebensnotwendig für die meisten irdischen Lebewesen
- 2.7 Teilchen von der Sonne erreichen die Erde und erzeugen Polarlichter
- 2.8 Ursprünglich für die astronomische Forschung entwickelte Technologie ist Teil unseres Alltags geworden

3

Der Nachthimmel ist vielfältig und in steter Veränderung begriffen



- 3.1 In einer klaren, dunklen Nacht können wir mit bloßem Auge mehrere tausend Sterne sehen
- 3.2 Der Nachthimmel kann uns dabei helfen, uns auf der Erde zurechtzufinden und zu navigieren
- 3.3 Die Drehachse der Erde taumelt (präzediert) über tausende von Jahren
- 3.4 Solange die Sonne über dem Horizont steht, sind nur wenige Himmelskörper hell genug, dass wir sie mit bloßem Auge sehen können
- 3.5 Himmelskörper gehen aufgrund der Erdrotation im Osten auf und im Westen unter
- 3.6 Die Erdatmosphäre bewirkt das Funkeln der Sterne
- 3.7 Täglich dringen Millionen von Meteoroiden in die Erdatmosphäre ein

4

Astronomie ist eine Wissenschaft, welche die Himmelskörper und Vorgänge im Universum untersucht

- 4.1 Licht (elektromagnetische Strahlung) ist der wichtigste Informationsträger der astronomischen Forschung
- 4.2 Auf großen Längenskalen ist die Gravitation die dominierende Wechselwirkung im Universum
- 4.3 Gravitationswellen und subatomare Teilchen bieten neue Wege, das Universum zu untersuchen
- 4.4 Die Astronomie nutzt Daten aus Beobachtungen und Simulationen, um im Rahmen der aktuellen Theorien astronomische Phänomene zu modellieren
- 4.5 Astronomische Forschung bezieht das Wissen verschiedener Fachdisziplinen ein
- 4.6 Die Astronomie besteht aus einer Reihe von Spezialdisziplinen
- 4.7 Die Zeit- und Entfernungsskalen der Astronomie sind weitaus größer als alles, was wir im Alltag verwenden
- 4.8 Die Spektroskopie ist eine wichtige Technik, um ferne Regionen des Universums zu untersuchen

5

Die Astronomie profitiert von der technischen Entwicklung und stimuliert sie zugleich

- 5.1 Teleskope und Messinstrumente sind entscheidend für die Astronomie
- 5.2 Bestimmte kleinere Teleskope können zusammengeschaltet das Auflösungsvermögen eines großen Teleskops erreichen
- 5.3 Astronomische Observatorien gibt es auf der Erde und im All
- 5.4 Bodengebundene astronomische Observatorien werden oft in entlegenen Regionen der Welt errichtet
- 5.5 Professionelle Astronomie ist heute ein Teil von „Big Science“ und „Big Data“
- 5.6 Komplexe Simulationen und die gewaltigen Datenmengen in der Astronomie erfordern die Entwicklung leistungsstarker Supercomputer
- 5.7 Die Astronomie ist eine globale Wissenschaft, bei der Arbeitsgruppen weltweit vernetzt sind und Daten und Veröffentlichungen frei ausgetauscht werden
- 5.8 Zahlreiche Raumsonden wurden bereits gestartet, um das Sonnensystem zu erforschen

6

Kosmologie ist die Wissenschaft, die das Universum als Ganzes untersucht

- 6.1 Das Universum ist mehr als 13 Milliarden Jahre alt
- 6.2 Das Universum ist auf großen Längenskalen homogen und isotrop
- 6.3 Wir schauen immer in die Vergangenheit
- 6.4 Wir können nur einen Teil des gesamten Universums direkt beobachten
- 6.5 Das Universum besteht hauptsächlich aus Dunkler Energie und Dunkler Materie
- 6.6 Das Universum expandiert, und diese Expansion beschleunigt sich
- 6.7 Die Expansion des Raums bewirkt eine Rotverschiebung des Lichts ferner Galaxien
- 6.8 Die Naturgesetze (zum Beispiel für die Gravitation), die wir auf der Erde untersuchen, scheinen im gesamten Universum auf gleiche Weise zu wirken
- 6.9 Die großräumige Struktur des Universums besteht aus Filamenten, Membranen und Hohlräumen
- 6.10 Anhand der kosmischen Hintergrundstrahlung können wir das frühe Universum untersuchen
- 6.11 Die Entwicklung des Universums lässt sich mit dem Urknall-Modell beschreiben

7

Wir leben auf einem kleinen Planeten im Sonnensystem

- 7.1 Unser Sonnensystem entstand vor etwa 4,6 Milliarden Jahren
- 7.2 Das Sonnensystem besteht aus der Sonne, den Planeten, Zwergplaneten, Monden, Kometen, Asteroiden und Meteoroiden
- 7.3 Es gibt acht Planeten im Sonnensystem
- 7.4 Es gibt mehrere Zwergplaneten im Sonnensystem
- 7.5 Die Planeten werden in terrestrische (Gesteins-) Planeten und Gasriesen eingeteilt
- 7.6 Einige Planeten haben Dutzende natürlicher Satelliten
- 7.7 Die Erde ist von der Sonne aus gezählt der dritte Planet und sie hat einen großen natürlichen Satelliten, den Mond
- 7.8 Es gibt Millionen von Asteroiden – Überreste aus der Frühphase des Sonnensystems
- 7.9 Kometen sind Körper aus Eis, die, sobald sie von der Sonne erhitzt werden, einen leuchtenden Schweif ausbilden
- 7.10 Die Grenze des Sonnensystems heißt Heliopause





Wir bestehen alle aus Sternenstaub

- 8.1 Sterne sind selbstleuchtende Körper, deren Strahlungsenergie aus Kernreaktionen in ihrem Inneren stammt
- 8.2 Sterne entstehen in massereichen Wolken aus Staub und Gas
- 8.3 Der erdnächste Stern ist die Sonne
- 8.4 Die Sonne ist ein aktiver Stern
- 8.5 Die Farbe eines Sterns verrät uns seine Oberflächentemperatur
- 8.6 Der Raum zwischen den Sternen kann weitgehend leer sein oder dichtere Wolken aus Gas und Staub enthalten, aus denen neue Sterne entstehen können
- 8.7 Jeder Stern durchläuft einen Lebenszyklus, der weitgehend von seiner Ursprungsmasse bestimmt wird
- 8.8 Sehr massereiche Sterne können ihren Lebenszyklus als stellare Schwarze Löcher beenden
- 8.9 Neue Sterne und ihre Planetensysteme entstehen aus Materie, die von früheren Sternengenerationen in den interstellaren Raum abgegeben wurde
- 8.10 Der menschliche Körper besteht aus Atomen, die im Inneren früherer Sterne erzeugt wurden



Es gibt hunderte von Milliarden Galaxien im Universum

- 9.1 Galaxien sind große Systeme aus Sternen, Staub und Gas
- 9.2 Galaxien enthalten offenbar große Mengen an Dunkler Materie
- 9.3 Die Entstehung von Galaxien ist ein evolutionärer Prozess
- 9.4 Es gibt drei Haupttypen von Galaxien: Spiralgalaxien, elliptische und irreguläre Galaxien
- 9.5 Wir leben in einer Spiralgalaxie, die wir Milchstraße nennen
- 9.6 Die Spiralarme von Galaxien entstehen durch die Verdichtung von interstellarem Gas und Staub
- 9.7 Die meisten Galaxien haben ein supermassereiches Schwarzes Loch in ihrem Zentrum
- 9.8 Galaxien können extrem weit entfernt sein
- 9.9 Galaxien bilden Haufen
- 9.10 Galaxien wechselwirken miteinander über Gravitation

10

Wir sind vielleicht nicht allein im Universum

- 10.1 Organische Moleküle wurden auch außerhalb der Erde entdeckt
- 10.2 Einige Organismen können in extremen Umgebungen auf der Erde und sogar im Weltraum überleben
- 10.3 Mögliche Spuren flüssigen Wassers deuten darauf hin, dass es auf dem Mars primitives Leben geben könnte oder gegeben haben könnte
- 10.4 Einige natürliche Satelliten im Sonnensystem scheinen geeignete Bedingungen für die Existenz von Leben aufzuweisen
- 10.5 Es gibt zahlreiche Planeten, Exoplaneten genannt, die andere Sterne umkreisen
- 10.6 Exoplaneten haben vielfältige Eigenschaften und treten meist als Teil von Planetensystemen auf
- 10.7 Wir sind nahe daran, erdähnliche Planeten zu entdecken
- 10.8 Wissenschaftler*innen suchen nach extraterrestrischer Intelligenz

11

Wir müssen die Erde, unsere einzige Heimat im Kosmos, bewahren

- 11.1 Lichtverschmutzung beeinträchtigt Menschen, Tiere und Pflanzen
- 11.2 Zahlreiche menschengemachte Trümmer befinden sich in Umlaufbahnen um die Erde
- 11.3 Wir überwachen potenziell gefährliche Objekte im Weltraum
- 11.4 Menschen haben einen beträchtlichen Einfluss auf die Umweltbedingungen auf der Erde
- 11.5 Die Aktivitäten des Menschen haben beträchtlichen Einfluss auf die Atmosphäre und damit auf das Klima
- 11.6 Um unseren Planeten zu bewahren, müssen wir eine globale Perspektive einnehmen
- 11.7 Die Astronomie bietet uns eine einzigartige kosmische Perspektive, die unsere Gemeinsamkeit als Bürger*innen dieser Erde hervorhebt

1

*Die Astronomie ist eine der
ältesten Wissenschaften*



*In der prähistorischen,
etwa 17.000 Jahre alten
Wandmalerei der Höhle von
Lascaux erinnert eine Gruppe
von Punkten über dem
Rücken des Auerochsen an die
Konstellation der Plejaden.*

*Quelle: Ministère de la Culture /
Centre National de la
Préhistoire / Norbert Aujoulat*



1.1

Die Beobachtung des Himmels und des Laufs von Sonne und Planeten gehörten zu den ersten Versuchen, die Welt zu verstehen

Die frühesten Zeugnisse astronomischer Beobachtungen sind Zeichnungen und Gegenstände, die von prähistorischen Menschen geschaffen wurden. Diese Menschen bildeten ab, was sie am Himmel sahen. In frühen Kulturen war die Astronomie eng mit religiösen und mythischen Vorstellungen verknüpft. Man nutzte astronomische Phänomene außerdem, um den Ablauf der Zeit zu messen und Kalender anzufertigen. Das erlaubte es, für den Tages- und den Jahreslauf vor auszuplanen.

1.2

Frühe Kulturen sahen Figuren am Sternenhimmel

Figuren am Nachthimmel, die durch die Verbindung heller Sterne durch gedachte Linien entstehen, nennt man Sternbilder. Die ältesten Sternbilder wurden bereits in sehr frühen Kulturen definiert. Diese wiedererkennbaren Sterngruppen wurden oft mit kulturellen Geschichten und Mythen verknüpft, etwa bei den Griechen, den Maya und anderen indigenen Völkern Amerikas, und den Chinesen. In der modernen Astronomie sind Sternbilder wohldefinierte Bereiche am Himmel, die sowohl auf die antiken Sternbilder als auch auf solche aus dem 15. bis 18. Jahrhundert zurückgehen. Einige Zivilisationen, wie die australische Urbevölkerung und die indigenen Völker Südamerikas, erkannten auch in den Mustern der Dunkelwolken der Milchstraße Figuren.

1.3

Astronomie hat künstlerische Darstellungen in den verschiedensten Kulturen inspiriert und beeinflusst

Über die Jahrhunderte hinweg hat der Nachthimmel Künstler*innen, Dichter*innen und Autor*innen und viele weitere Denker*innen inspiriert. Astronomische Motive finden sich in Gemälden, Skulpturen, in der Musik, in Filmen und in literarischen Werken. Dabei werden Motive mit Bezug zum Nachthimmel verwendet, um direkt oder indirekt die grundlegenden Eigenschaften, die Schönheit oder Geheimnisse des Nachthimmels darzustellen. Kunst ist universell, und untrennbar mit der Kultur als Ganzes verbunden. Sie ermöglicht es den Menschen daher nicht nur, die Schönheit der Himmelsobjekte und -phänomene schätzen zu lernen, sondern kann auch Zugänge zu unserem Wissen über den Himmel schaffen. Das fördert das weltweite Interesse an der Astronomie und schafft quer durch die verschiedenen Kulturen ein Verständnis dafür, was es heißt, unter einem gemeinsamen Himmel zu leben.

1.4

Die Astronomie lieferte die Werkzeuge zur Zeitmessung, insbesondere für die Landwirtschaft

In zahlreichen alten Kulturen trieb man die Astronomie voran, um die Genauigkeit der Landwirtschaftskalender zu erhöhen. Die Ägypter etwa entwickelten einen Kalender auf der Basis von Beobachtungen des Sterns Sirius: Aus dessen Stellung am Himmel leiteten sie die Vorhersage der jährlichen Überflutungen durch den Nil ab, die die umliegenden Felder fruchtbar machten.

1.5

Die Astronomie war früher wichtig für die Navigation

Viele Zivilisationen nutzten die Positionen der Sterne oder anderer Himmelskörper zur Orientierung auf ihren Reisen zu Lande oder zur See. Die astronomische Navigation wird auch heute noch unterrichtet.

1.6

Die Astronomie unterscheidet sich von der Astrologie durch die Anwendung wissenschaftlicher Methoden

Bis in die Neuzeit waren Astronomie und Astrologie nicht klar getrennt. Heute ist das anders: Die Astronomie ist eine Wissenschaft und die Astrologie ist es nicht. In der Astrologie nutzt man die Position von Himmelskörpern, um die Zukunft vorherzusagen. Doch umfangreiche Forschungen zur Astrologie haben gezeigt, dass ihre Vorhersagen nicht verlässlich sind und keine wissenschaftliche Grundlage besitzen.

1.7

Einige frühe Kulturen glaubten, die Erde sei der Mittelpunkt des Universums

Frühe Astronom*innen glaubten, die Erde ruhe im Mittelpunkt des Universums. Die meisten frühen Kulturen, mit Ausnahme einiger griechischer Astronom*innen in der Zeit um 300 Jahre vor unserer Zeitrechnung, sahen die Erde als Zentrum des Universums. Dieses geozentrische Weltbild hielt sich in europäischen und asiatischen Kulturen über ein Jahrtausend lang, bis zur kopernikanischen Revolution im 16. Jahrhundert. In der modernen Astronomie hat das Universum keinen irgendwie ausgezeichneten Mittelpunkt.

1.8

Die Jahrhunderte dauernde kopernikanische Wende rückte die Sonne anstatt der Erde in die Mitte des Sonnensystems

Im 16. Jahrhundert formulierte Nikolaus Kopernikus Argumente für das heliozentrische Weltmodell, nach dem die Sonne im Mittelpunkt des Universums steht und die Erde sie umkreist. Zwar wissen wir heute, dass die Sonne nicht im Zentrum des Universums steht, aber sie markiert immerhin die Mitte unseres Planetensystems. Dennoch war die heliozentrische Theorie zu ihrer Zeit eine echte Revolution, die entscheidend zur Entwicklung der modernen Astronomie beigetragen hat.

1.9

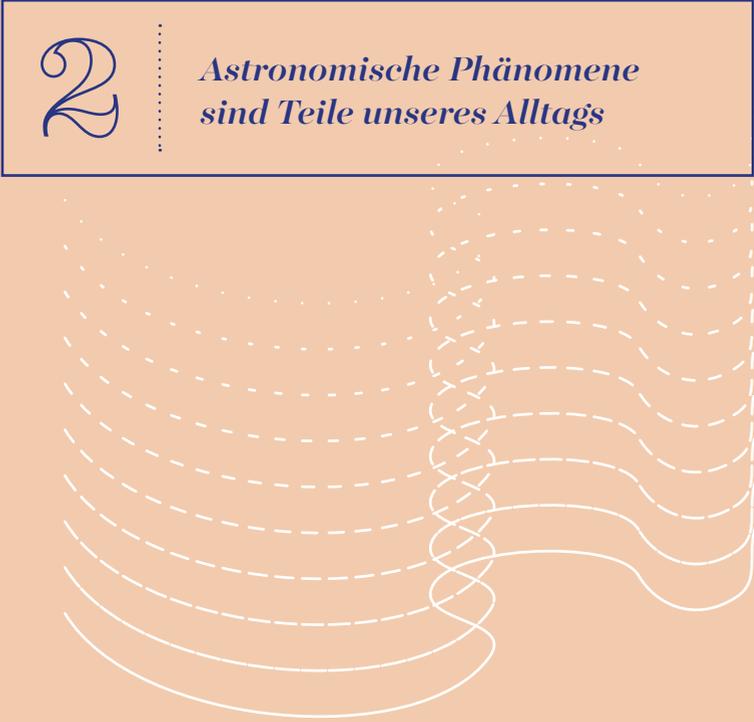
Vor über 400 Jahren führte Galileo Galilei die ersten teleskopischen Beobachtungen der Himmelskörper durch

Zwar war Galilei nicht der Erfinder des Teleskops, aber er setzte es als erster für astronomische Beobachtungen ein. Mit seiner verbesserten Version eines Linsenteleskops entdeckte er unter anderem die Phasen der Venus und die vier größten Jupitermonde, die später nach ihm Galileische Monde genannt wurden. Seine Entdeckungen lieferten überzeugende Hinweise auf die Gültigkeit der heliozentrischen Weltanschauung.

1.10

Der Planet Erde hat annähernd Kugelform, was schon seit Jahrtausenden auf vielfältige Weise dargestellt wurde

Einige frühe Kulturen sahen die Erde als ebene Fläche oder als Scheibe an. Die Vorstellung von der Erde als Kugel ist jedoch schon seit Jahrtausenden wichtiger Bestandteil des Weltbildes vieler Völker. Es gibt zahlreiche Beobachtungen, welche die Kugelgestalt der Erde nachweisen (mathematisch lässt sich die Erde als abgeplattetes Rotationsellipsoid beschreiben). Auf der Grundlage dieser Erkenntnis ermittelte Eratosthenes im alten Ägypten (3. Jahrhundert vor unserer Zeitrechnung) mit mathematischen Methoden den Erdumfang aus den gemessenen Schattenlängen von Stäben an Orten verschiedener geographischer Breite.



2

Astronomische Phänomene sind Teile unseres Alltags

*Ein erhabenes Spektakel am
Nachthimmel – die Aurora
Borealis (Nordlicht) in der
Wildnis Alaskas.*

*Quelle: Jean Beaufort
(Public Domain Pictures)*



2.1

Tag und Nacht entstehen durch die Drehung der Erde um ihre Achse

Auf derjenigen Seite der Erde, die der Sonne zugewandt ist, herrscht Tag, während auf der abgewandten Seite Nacht herrscht. Innerhalb von 24 Stunden dreht sich die Erde einmal um ihre eigene Achse, sodass die Sonne wieder am selben Ort am Himmel erscheint. Diesen Zyklus nennt man (Sonnen-) Tag.

2.2

Die Jahreszeiten entstehen durch die Neigung der Erdachse und die Bewegung der Erde um die Sonne im Laufe eines Jahres

Die Drehachse der Erde ist gegenüber einer Linie, die auf der Bahnebene um die Sonne senkrecht steht, um $23,4^\circ$ geneigt. Daher ist während bestimmter Abschnitte der Bewegung der Erde um die Sonne die nördliche oder südliche Erdhalbkugel der Sonne etwas zugeneigt, während die andere Halbkugel etwas von ihr abgewandt ist. Auf der zugewandten Seite herrscht Sommer, da das Sonnenlicht dort in steilerem Winkel auf die Erdoberfläche trifft. Umgekehrt herrscht auf der abgewandten Hemisphäre Winter, da das Sonnenlicht dort in flacherem Winkel auf den Erdboden trifft und sich somit über eine größere Fläche verteilt. Gleichzeitig befindet sich die Sonne an einem Sommertag länger über dem Horizont als an einem Wintertag. In diesem Sinne sind die Tage im Sommer länger als im Winter.

2.3

Wir sehen im Laufe eines Mondzyklus unterschiedlich orientierte Mondphasen

Während der Mond die Erde umrundet, verändert sich seine Position relativ zur Sonne und zur Erde. Dabei ändert sich auch, welche Regionen der Mondoberfläche von der Sonne beschienen werden. So entstehen die unterschiedlichen Mondphasen, die wir von der Erde aus beobachten: Neumond, zunehmender Mond, Vollmond, abnehmender Mond, insgesamt 29,53 Tage von einem Vollmond zum nächsten. Während die Mondphase zu einer gegebenen Zeit von jedem Ort der Erde aus (annähernd) gleich aussieht, ändert sich die Orientierung der Mondsichel in Abhängigkeit von der geografischen Breite. Zu ein und derselben Zeit kann der Mond etwa von einem Standort aus als nach links geöffnete, von einem anderen als nach rechts geöffnete Sichel erscheinen.

2.4

Finsternisse entstehen, wenn Erde, Sonne und Mond in einer Linie stehen

Bei den seltenen Gelegenheiten, zu denen der Mond genau zwischen Erde und Sonne hindurchzieht, schattet er das Licht der Sonne ab, wirft seinen Schatten auf die Erde und erscheint damit einigen irdischen Beobachtern als schwarze Silhouette. Das ist eine Sonnenfinsternis. Manchmal steht andererseits die Erde zwischen Sonne und Mond. Dann wirft die Erde ihren Schatten auf den Mond. Das ist eine Mondfinsternis. Ist die Sonne komplett vom Mond verdeckt, oder der Mond komplett im Erdschatten, heißt die betreffende Finsternis total, andernfalls heißt sie partiell. Eine Mondfinsternis kann nur bei Vollmond entstehen und ist somit nur nachts beobachtbar. Eine Sonnenfinsternis kann nur bei Neumond stattfinden und ist daher nur am Tage sichtbar. An jedem gegebenen Ort der Erde ist es wahrscheinlicher, eine Mondfinsternis zu beobachten als eine Sonnenfinsternis. Mondfinsternisse dauern außerdem länger als Sonnenfinsternisse.

2.5

Die Gezeiten auf der Erde sind eine Folge der Schwerkraft, die von Sonne und Mond ausgeübt wird

Der Mond und in geringerem Maße die Sonne verursachen die Gezeiten auf der Erde: Ebbe und Flut. Die Erde und insbesondere ihre Ozeane beulen sowohl etwas zum Mond hin als auch zur Sonne hin aus – auch auf der dem Mond jeweils gegenüberliegenden Seite. Während sich die Erde dreht, erreichen diese Ausbeulungen die Küsten und das Wasser steigt dort an. Befinden sich Sonne, Erde und Mond ungefähr auf einer Linie (bei Vollmond oder Neumond), so entstehen die höheren Springtiden. Wenn andererseits Sonne und Mond von der Erde aus gesehen im rechten Winkel zueinander stehen, also wenn sich der Mond im ersten oder letzten Viertel befindet, entstehen die schwächeren Nipptiden.

2.6

Sonnenlicht ist lebensnotwendig für die meisten irdischen Lebewesen

Die Sonne ist die Hauptenergiequelle für die meisten Lebensformen auf der Erde. Bei Pflanzen läuft mit Hilfe des Sonnenlichts die Fotosynthese ab, die ihr Wachstum und die Produktion molekularen Sauerstoffs ermöglicht. Diesen Sauerstoff atmen dann wiederum Tiere und Menschen. Vom Massen-Aussterben der Dinosaurier und vieler weiterer damaliger Spezies wird angenommen, dass es durch einen Asteroiden ausgelöst wurde, der mit der Erde kollidierte. Die daraus resultierende Explosion transportierte gewaltige Mengen an Staub in die Atmosphäre, die das Sonnenlicht schluckten und zu einem extrem langen Winter führten. Auch unsere eigene körperliche und geistige Gesundheit wird durch Sonnenlicht beeinflusst. Fällt Sonnenlicht auf unsere Haut, dann produziert sie Vitamin D, einen Stoff, der in verschiedenen biochemischen Abläufen unseres Körpers eine wichtige Rolle spielt. Einige medizinische Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen Depressionen und einem Mangel an Sonnenlicht.

2.7

Teilchen von der Sonne erreichen die Erde und erzeugen Polarlichter

Bei starken Sonneneruptionen fliegen geladene Teilchen (vor allem Elektronen und Protonen) von der Sonne aus in Richtung der 150 Millionen Kilometer entfernten Erde. Einige dieser Teilchen bewegen sich entlang der Magnetfeldlinien in Richtung der magnetischen Pole der Erde und wechselwirken dabei mit Teilchen in der Erdatmosphäre. Die schnellsten der Teilchen benötigen von der Sonne zur Erde nur rund eine halbe Stunde, die langsamsten rund fünf Tage. Gelegentlich stören diese Teilchenstürme das Magnetfeld der Erde und beschädigen damit Satelliten oder Stromversorgungsnetze. Häufig treten die Teilchen mit dem Sauerstoff und dem Stickstoff in der Erdatmosphäre in Wechselwirkung. Dann entstehen Polarlichter – herrliche Lichterscheinungen, die den Nachthimmel in der Nähe der Polarregionen erhellen. Auf der Nordhalbkugel bezeichnet man sie als Nordlichter, auf der Südhalbkugel als Südlichter.

2.8

Ursprünglich für die astronomische Forschung entwickelte Technologie ist Teil unseres Alltags geworden

Analysewerkzeuge und Methoden zur Untersuchung astronomischer Daten werden heute in der Industrie, Medizin und auch im Alltag eingesetzt. Sensoren, die ursprünglich für die astronomische Forschung entwickelt wurden, finden sich heute in Digitalkameras wie jenen in unseren Mobiltelefonen. Spezielle Glassorten für astronomische Teleskope werden bei der Herstellung von Flachbildschirmen und Computerchips sowie als Material für Glaskeramik-Kochfelder benutzt. Der Know-how-Transfer von der Astronomie zur Medizin hat unter anderem zur Entwicklung der Magnetresonanztomografie (MRT) und Computertomografie (CT) geführt.

3

*Der Nachthimmel ist vielfältig
und in steter Veränderung begriffen*

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

x

Strichspuren werden durch die Erdrotation erzeugt und erscheinen auf Langzeitbelichtungen wie bei dieser Aufnahme vom Chajnantor-Plateau in den chilenischen Anden.

Quelle: S. Otavola/ESO



x

x

x

x

3.1 In einer klaren, dunklen Nacht können wir mit bloßem Auge mehrere tausend Sterne sehen

Blicken wir zum Nachthimmel, weit entfernt von der Lichtverschmutzung der Städte und bei Neumond, oder wenn der Mond unter dem Horizont steht, dann können wir etwa 4000 Sterne mit dem bloßen Auge sehen. Alle diese Sterne gehören zu unserer Heimatgalaxie. Die Milliarden von Sternen in Billionen anderer Galaxien im beobachtbaren Universum sind sämtlich zu weit entfernt, als dass wir sie einzeln am Himmel sehen könnten. Abhängig von unserem Standort auf der Erde und dem Zeitpunkt der Beobachtung können wir auch die fünf hellsten Planeten unseres Sonnensystems, das Band der Milchstraße, zwei Satellitengalaxien unserer Milchstraße (die Große und die Kleine Magellansche Wolke) und eine große Spiralgalaxie (die Andromeda-Galaxie) mit bloßem Auge erkennen.

3.2 Der Nachthimmel kann uns dabei helfen, uns auf der Erde zurechtzufinden und zu navigieren

Schaut man zum Nachthimmel empor, kann man die vier Himmelsrichtungen bestimmen. Auf der Nordhalbkugel findet man die Nordrichtung am einfachsten anhand des Sterns Polaris, auch Polarstern genannt, der sehr nah am Himmelsnordpol steht. Der einfachste Weg, Polaris zu finden, ist über die Sternbilder Ursa Major und Ursa Minor (Großer und Kleiner Bär). Auf der Südhalbkugel ist der Stern Sigma Octantis, der dem Himmelssüdpol am nächsten steht, leider nur etwas für geübtere Beobachter. Einfacher kann man die Südrichtung mithilfe des Sternbilds Crux (Kreuz des Südens) und der zwei hellsten Sterne des Sternbilds Centaurus (Zentaur) finden.

3.3 Die Drehachse der Erde taumelt (präzediert) über tausende von Jahren

Die Erde dreht sich um ihre eigene Achse und ist damit eine Art Kreisel. Die Richtung der Erdachse ändert sich dabei in einer langsamen, kreisenden Bewegung (Präzession) mit einer Periode von nahezu 26 000 Jahren. Weil die Achse mit der Zeit in unterschiedliche Richtungen zeigt, verschieben sich auch die Himmelspole. Der Polarstern beispielsweise wird in ferner Zukunft nicht mehr die Nordrichtung anzeigen. Abhängig von der Richtung der Erdachse können dann andere Sterne an seine Stelle treten. Obwohl derzeit kein heller Stern in der Nähe des Himmelssüdpols steht, werden wir in Zukunft irgendwann einmal auch wieder einen echten „Südstern“ haben.

3.4 Solange die Sonne über dem Horizont steht, sind nur wenige Himmelskörper hell genug, dass wir sie mit bloßem Auge sehen können

Die meisten Objekte des Nachthimmels sind zu lichtschwach, als dass wir sie am helllichten Tag sehen könnten. Ein ähnlicher Effekt tritt nachts überall dort ein, wo der Himmel durch künstliche Lichtquellen aufgehellt wird: Bei starker Lichtverschmutzung können wir nur einen kleinen Teil der Sterne sehen. Nur wenige Himmelskörper sind hell genug, dass wir sie mit bloßem Auge sehen können, solange die Sonne über dem Horizont steht. Abhängig von seiner Phase ist der Mond manchmal am Tag sichtbar. Zu bestimmten Zeiten kann man die Venus am Morgen („Morgenstern“) oder am Abend („Abendstern“) sehen. Mit etwas Übung kann man auch Merkur und Jupiter entdecken. Sehr selten besuchen besonders helle Kometen die Erde, die auch am Tage sichtbar sind.

3.5 Himmelskörper gehen aufgrund der Erdrotation im Osten auf und im Westen unter

Weil sich die Erde von West nach Ost um ihre eigene Achse dreht, sieht ein irdischer Beobachter den ganzen Himmel in umgekehrter Richtung rotieren, also von Ost nach West. Diese scheinbare Bewegung des Himmels um die Erde ist der Grund, warum wir Himmelsobjekte, die nicht zu nah beim jeweils sichtbaren Himmelspol stehen, über dem östlichen Horizont auf- und am westlichen Horizont untergehen sehen.

3.6 Die Erdatmosphäre bewirkt das Funkeln der Sterne

Während das Sternenlicht die verschiedenen Schichten unserer Erdatmosphäre durchläuft, ändert es immer wieder ein wenig seine Richtung, denn diese Schichten brechen das Licht aufgrund ihrer unterschiedlichen Temperaturen und Dichten unterschiedlich stark. Dadurch ändern sich laufend die Helligkeit des Sternenlichts und die Richtung, aus der uns das Licht eines Sterns erreicht. Für einen Beobachter auf der Erde sieht es daher so aus, als würde der Stern funkeln. Für Planeten ist dieser Effekt weit weniger auffällig (nämlich so gut wie nicht wahrnehmbar). Wir sehen Planeten nämlich als kleine Scheiben (was man zum Beispiel mit einem Fernglas leicht feststellen kann), Sterne dagegen als winzige Lichtpunkte. Da alles Sternlicht von nur einem Punkt zu kommen scheint, ist die Position des Sterns am Himmel gegenüber den atmosphärischen Störungen besonders empfindlich.

3.7 Täglich dringen Millionen von Meteoroiden in die Erdatmosphäre ein

Ein Meteoroid ist ein kleines steinernes oder metallisches Objekt mit einer typischen Größe zwischen der eines Sandkorns und einem Meter Durchmesser. Dringt ein Meteoroid in die Erdatmosphäre ein, so wird die Luft direkt vor ihm zusammengedrückt und dadurch aufgeheizt: Der Meteoroid hinterlässt eine helle Lichtspur am Nachthimmel und verdampft dabei ganz oder teilweise. Diese Lichtspur nennt man Meteor (oder Sternschnuppe). Überlebt ein Meteoroid seine Reise durch die Erdatmosphäre und trifft auf die Oberfläche, so wird er Meteorit genannt. Bei den meisten der Millionen von Meteoren, die pro Tag auftreten, verdampfen die betreffenden Meteoroiden zu Gas und Staub, bevor sie den Erdboden erreichen.

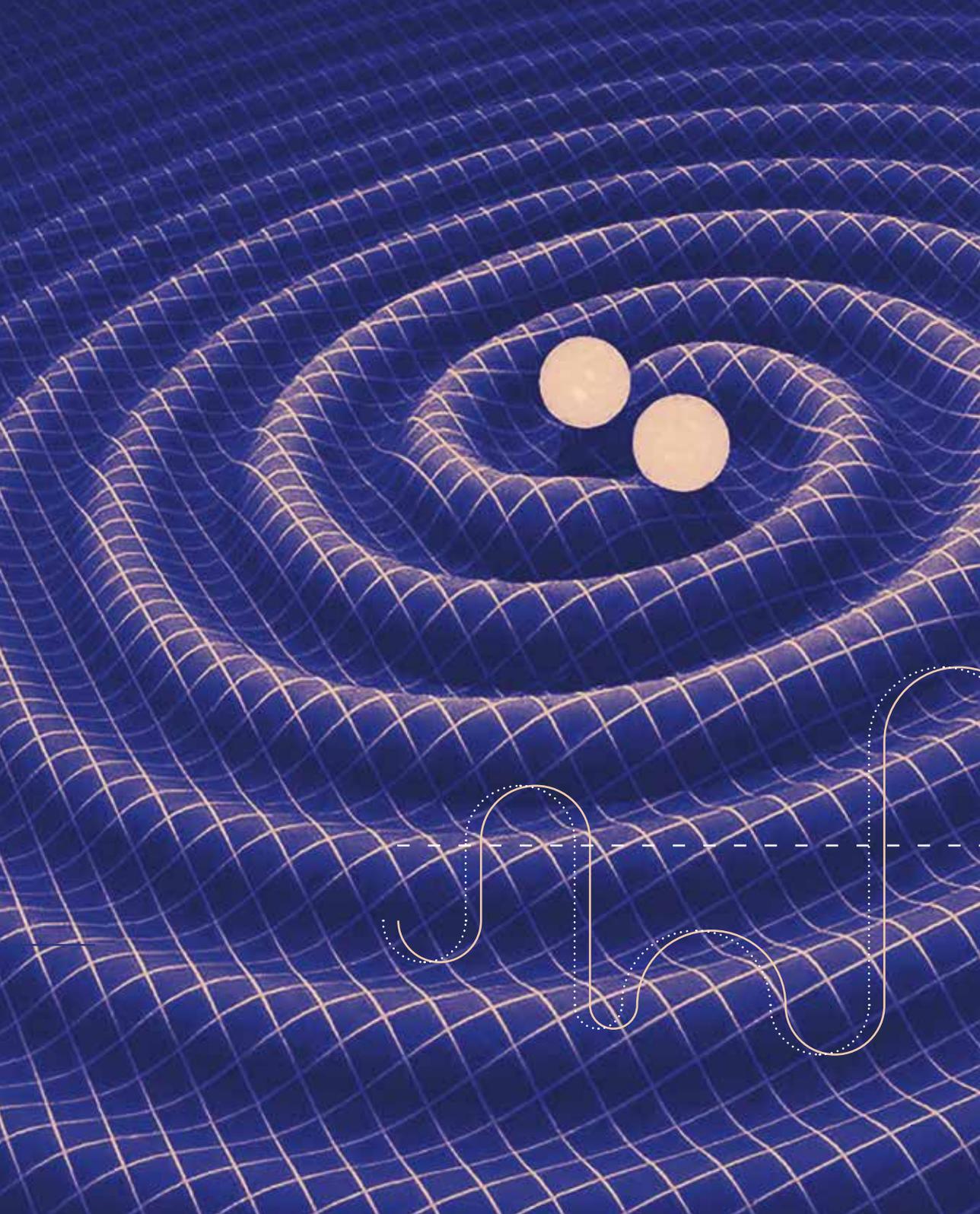


Astronomie ist eine Wissenschaft, welche die Himmelskörper und Vorgänge im Universum untersucht



Künstlerische Darstellung der Gravitationswellen, die von einem Paar sich umkreisender Neutronensterne kurz vor ihrer Verschmelzung erzeugt werden.

Quelle: R. Hurt/Caltech-JPL



4.1

Licht (elektromagnetische Strahlung) ist der wichtigste Informationsträger der astronomischen Forschung

Da die meisten Himmelskörper zu weit entfernt sind, als dass wir hinreisen könnten, sind wir auf die elektromagnetische Strahlung dieser Objekte angewiesen, um sie zu untersuchen. Unterschiedliche Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums liefern uns Informationen über die Physik hinter astronomischen Vorgängen und über Zusammensetzung und Zustand der Himmelskörper. Die moderne Astronomie nutzt zur Untersuchung des Universums das gesamte elektromagnetische Spektrum: Radiowellen, Mikrowellen, Infrarot, sichtbares Licht, Ultraviolett, Röntgenstrahlung und Gammastrahlung. Anders als in der Alltagssprache werden in der Astronomie häufig alle Arten elektromagnetischer Strahlung pauschal als Licht bezeichnet.

4.2

Auf großen Längenskalen ist die Gravitation die dominierende Wechselwirkung im Universum

Insgesamt sind astronomische Objekte im Allgemeinen elektrisch neutral, enthalten also ebenso viele negative wie positive elektrische Ladungen. Entscheidend dafür, wie diese Objekte über große Distanzen hinweg aufeinander wirken, ist die Gravitation. Gravitation hält die Planeten auf ihren Umlaufbahnen um die Sonne, hält Sterne auf ihren Umlaufbahnen um das Zentrum ihrer Galaxie, und hält das heiße Plasma der Sterne zu einer Kugel zusammen. Die meisten astronomischen Vorgänge, bei denen Gravitation eine Rolle spielt, lassen sich mittels des Newtonschen Gravitationsgesetzes beschreiben. In extremen Fällen ist jedoch Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie erforderlich, um eine genaue Beschreibung zu liefern.

4.3

Gravitationswellen und subatomare Teilchen bieten neue Wege, das Universum zu untersuchen

Die Existenz von Gravitationswellen – Kräuselungen der Raumzeit – wurde Anfang des 20. Jahrhunderts theoretisch auf Basis der Allgemeinen Relativitätstheorie vorhergesagt. Die erste bestätigte direkte Beobachtung gelang ein Jahrhundert später, im Jahr 2015. Seither nutzen Wissenschaftler*innen die Gravitationswellen als neues Fenster zur Untersuchung des Universums. Gravitationswellen werden bei starken Gravitations-Wechselwirkungen erzeugt, wie zum Beispiel bei der Verschmelzung zweier Schwarzer Löcher oder Neutronensterne. Eine weitere Informationsquelle: Verschiedene Arten subatomarer Teilchen, wie Neutrinos, Elektronen und Protonen, geben den Astronom*innen Aufschluss über das Innere der Sonne und einige der energiereichsten Prozesse im Kosmos.

4.4

Die Astronomie nutzt Daten aus Beobachtungen und Simulationen, um im Rahmen der aktuellen Theorien astronomische Phänomene zu modellieren

Astronom*innen formulieren mathematische Modelle astronomischer Objekte, der mit diesen zusammenhängenden Phänomene und der zeitlichen Entwicklung solcher Objekte. Den Rahmen bilden dabei die grundlegenden Theorien der Physik und der Chemie. Einige Modelle bestehen aus elementaren mathematischen Beziehungen; komplexere Modelle nutzen numerische Simulationen. Die aufwändigsten Simulationen werden auf den größten heute verfügbaren Supercomputern ausgeführt. Beobachtungsdaten von Teleskopen und den zugehörigen Messinstrumenten helfen, die Modelle zu überprüfen und zu verfeinern. Das Zusammenspiel von Beobachtungsdaten und Modellen ist wichtig für neue astronomische Entdeckungen.

4.5 Astronomische Forschung bezieht das Wissen verschiedener Fachdisziplinen ein

Professionelle astronomische Forschung nutzt Wissen aus Mathematik, Physik, Chemie, den Ingenieurwissenschaften, Informatik und anderen Feldern. So unterschiedliches Wissen miteinzubeziehen hat sich als unabdingbar herausgestellt, um die Natur astronomischer Objekte und Phänomene herauszuarbeiten und zu modellieren. Um zum Beispiel die Kernreaktionen im Inneren eines Sterns zu verstehen, benötigt man die Kernphysik; um die dabei entstandenen Elemente in der Atmosphäre eines Sterns nachzuweisen, benötigt man Atomphysik und Chemie. Ingenieurwissenschaften sind beim Bau von Teleskopen und Messinstrumenten am Erdboden und im Weltraum gefragt. Für die Auswertung der von diesen Instrumenten gesammelten Daten ist die Entwicklung von spezieller Software unerlässlich.

4.6 Die Astronomie besteht aus einer Reihe von Spezialdisziplinen

Da eine angemessene Beschreibung astronomischer Objekte und Vorgänge spezielle, vertiefte Sachkenntnis erfordert, teilt man die moderne Astronomie in eine Reihe von Spezialdisziplinen auf, mit jeweils eigenen Forschungsobjekten. Einige dieser Spezialdisziplinen sind: Astrobiologie, Kosmologie, beobachtende Astronomie, Astrochemie und Planetologie. Astronom*innen können sich auch auf die Untersuchung spezifischer Objekte spezialisieren, zum Beispiel auf die Untersuchung Weißer Zwerge. Aufgrund der bedeutenden Rolle, welche die Physik in der modernen Astronomie spielt, werden die Begriffe „Astrophysik“ und „Astronomie“ meist synonym verwendet.

4.7 Die Zeit- und Entfernungsskalen der Astronomie sind weitaus größer als alles, was wir im Alltag verwenden

Der Mond ist mit einer mittleren Entfernung von 384 400 Kilometern derjenige Himmelskörper, der der Erde am nächsten ist. Unsere Sonne hat einen Durchmesser von 1,39 Millionen Kilometern und eine Masse von 1,989 Millionen Billionen Billionen Kilogramm. Mit einer Entfernung von der Erde von rund 150 Millionen Kilometern (entsprechend einer Astronomischen Einheit, AE) ist sie der erdnächste Stern. Der nächste Stern jenseits der Sonne ist der etwa 4,25 Lichtjahre entfernte Proxima Centauri. Ein Lichtjahr ist die Entfernung, die das Licht im Vakuum in einem Jahr zurücklegt, also etwa 9,5 Billionen Kilometer. Unsere Galaxie misst etwa 100 000 bis 120 000 Lichtjahre im Durchmesser. Andere Galaxien sind Millionen oder sogar Milliarden Lichtjahre von der unseren entfernt. Die Größen in der Astronomie sprengen unsere Vorstellungskraft. Astronomische Zeitskalen sind meist lang und Zeiträume von Millionen und Milliarden Jahren sind durchaus typisch.

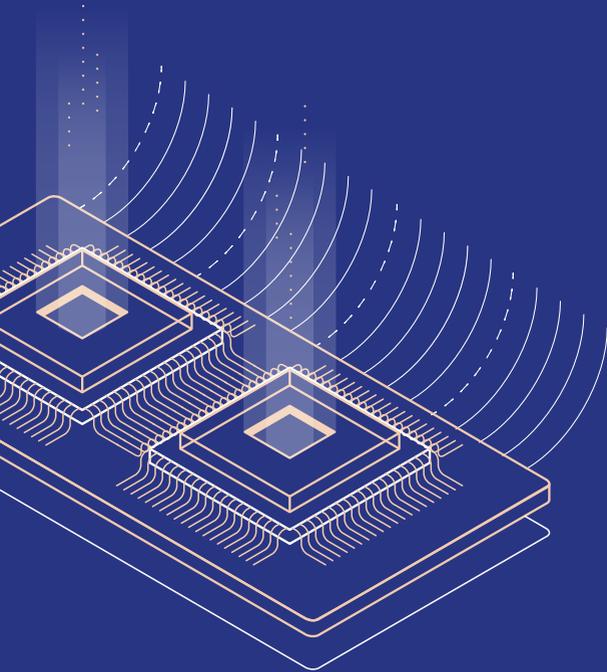
4.8 Die Spektroskopie ist eine wichtige Technik, um ferne Regionen des Universums zu untersuchen

Verschiedene Eigenschaften astronomischer Objekte kann man nur über ihr Spektrum herausfinden – die regenbogenartige Zerlegung ihres Lichtes in Myriaden verschiedener Farben, von denen jede durch ihre Wellenlänge charakterisiert werden kann. Durch die Analyse des solchermaßen zerlegten Lichts ferner Objekte können Astronom*innen grundlegende Eigenschaften wie deren chemische Zusammensetzung, Temperatur, Druck sowie die Stärke des sie umgebenden und durchdringenden Magnetfeldes bestimmen, um nur einige zu nennen.



5

*Die Astronomie profitiert von
der technischen Entwicklung und
stimuliert sie zugleich*



*Zwei der vier 8-Meter-Teleskope
des Very Large Telescope
(VLT) hoch in den chilenischen
Anden.*

Quelle: ESO/P. Horálek



5.1 Teleskope und Messinstrumente sind entscheidend für die Astronomie

Da elektromagnetische Wellen die Hauptinformationsquelle der Astronomie sind, spielen Teleskope und ihre Messinstrumente eine wichtige Rolle bei der Sammlung und Analyse dieser Wellen. Größere Teleskope sammeln mehr Licht und erlauben den Astronom*innen, selbst sehr lichtschwache Objekte zu identifizieren und zu analysieren. Größere Teleskope haben außerdem ein besseres Auflösungsvermögen: Astronom*innen können mit ihnen feinere Details ihrer Beobachtungsobjekte untersuchen. Nahm man früher astronomische Beobachtungen vor, indem man durch ein Teleskop blickte, erlauben Instrumente heute den Astronom*innen, ihre Beobachtungen direkt und objektiv aufzuzeichnen, und das auch noch bei verschiedenen Wellenlängen.

5.2 Bestimmte kleinere Teleskope können zusammenschaltet das Auflösungsvermögen eines großen Teleskops erreichen

Durch das Zusammenschalten mehrerer kleiner Teleskope lässt sich das Auflösungsvermögen eines größeren Teleskops erreichen. Diese Technik heißt Interferometrie. Die Auflösung des zusammengesetzten Instruments entspricht der eines einzelnen Teleskops mit einem Durchmesser entsprechend dem größten Abstand zwischen zwei Einzelteleskopen der Anordnung. Das erlaubt den Astronom*innen, feinere Details auf den beobachteten Objekten zu erkennen und damit auch nahe zusammenstehende Objekte wie einen Stern und seine Planeten besser trennen zu können.

5.3 Astronomische Observatorien gibt es auf der Erde und im All

Die Erdatmosphäre absorbiert die Strahlung der meisten Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums. Durchlässig ist sie nur für sichtbares Licht (der optische Teil des Spektrums), einen Teil des ultravioletten und infraroten Lichts und für kurzwellige Radiostrahlung. Für den größten Teil des ultravioletten Lichts, weite Bereiche des infraroten Lichts, und auch für Röntgenstrahlung ist die Atmosphäre undurchdringlich. Daher müssen Teleskope, die Licht solcher Wellenlängenbereiche sammeln sollen, vom Weltraum aus operieren. Weil sichtbares Licht zwar vom Erdboden aus beobachtet werden kann, aber die Turbulenz der Erdatmosphäre die Qualität der Bilder beeinträchtigt, werden auch optische Teleskope im All betrieben.

5.4 Bodengebundene astronomische Observatorien werden oft in entlegenen Regionen der Welt errichtet

Nur wenige Orte auf der Erde bieten die exzellenten Beobachtungsbedingungen, die mit großer Höhe über dem Meeresspiegel, dem Fehlen von Lichtverschmutzung und der Durchlässigkeit der Atmosphäre für bestimmte Wellenlängen einhergehen. Diese Orte sind oftmals lebensfeindlich und schwer zugänglich, und liegen normalerweise weitab bewohnter Gebiete. Astronom*innen müssen für ihre Beobachtungen entweder zu diesen Orten reisen, die Beobachtungen durch erfahrene Teleskopoperateure ausführen lassen, oder robotische Teleskope benutzen, die sich fernsteuern lassen.

5.5

Professionelle Astronomie ist heute ein Teil von „Big Science“ und „Big Data“

Astronomische Durchmusterungen erzeugen heutzutage sehr große Datenmengen, und das wird sich in Zukunft noch um einige Größenordnungen steigern. Diesen Trend nennt man „Big Data Astronomy“, wobei der Schwerpunkt der Arbeit darauf liegt, diese Daten zu speichern, zu übermitteln und zu analysieren. Das hat zur Entwicklung von Citizen-Science-Projekten mit Beteiligung der Allgemeinheit geführt, um die hervorragenden Mustererkennungsfähigkeiten von Menschen für die astronomische Wissenschaft zu nutzen. Andererseits sind moderne Teleskope und Instrumente mit beachtlichen Kosten verbunden. Ihr Bau erfordert verschiedene Arten von hochspezialisiertem technischen Know-How. In diesem Zeitalter von „Big Science“ werden große Teleskope und Instrumente daher in der Regel von internationalen Organisationen oder Konsortien unter Einbeziehung zahlreicher astronomischer Institute aus unterschiedlichen Ländern gebaut.

5.6

Komplexe Simulationen und die gewaltigen Datenmengen in der Astronomie erfordern die Entwicklung leistungsstarker Supercomputer

Die Verarbeitung riesiger Datenmengen aus Simulationen und Beobachtungen erfordern Computer, die komplexe Rechnungen in kurzer Zeit durchführen können. Heutige Supercomputer können einige Hundert Milliarden Rechenoperationen pro Sekunde ausführen. Diese Supercomputer erlauben es den Astronom*innen, ganze Universen zu simulieren und ihre Ergebnisse mit den Beobachtungen aus groß angelegten Durchmusterungen zu vergleichen.

5.7

Die Astronomie ist eine globale Wissenschaft, bei der Arbeitsgruppen weltweit vernetzt sind und Daten und Veröffentlichungen frei ausgetauscht werden

Die von den meisten professionellen Observatorien gelieferten Daten sind frei zugänglich. Im Laufe ihres Berufslebens arbeiten Astronom*innen typischerweise in mehreren Ländern. Große astronomische Projekte, von der Konstruktion von Teleskopen und Instrumenten bis hin zu koordinierten Beobachtungskampagnen, werden häufig in Zusammenarbeit von Wissenschaftler*innen und Instituten mehrerer Nationen durchgeführt. Astronomie ist global und international: Wir alle sind Besatzungsmitglieder des „Raumschiffs Erde“, unter einem Himmel, und erkunden gemeinsam den einen Kosmos.

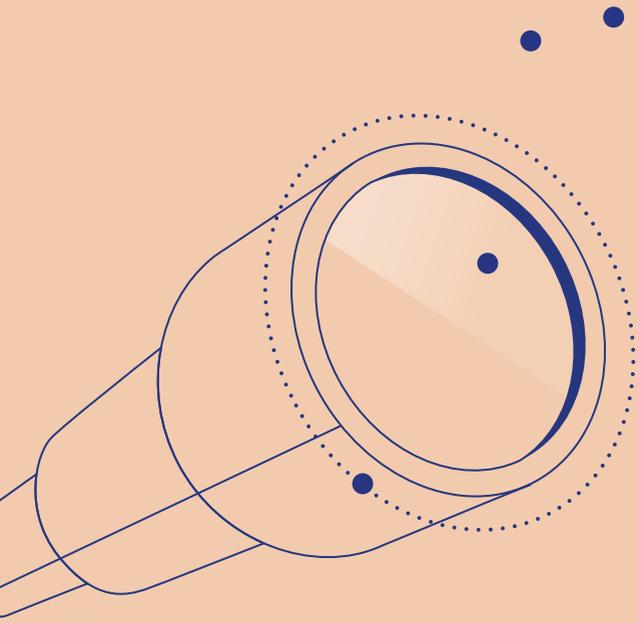
5.8

Zahlreiche Raumsonden wurden bereits gestartet, um das Sonnensystem zu erforschen

Um mehr über unseren Platz im Universum zu erfahren, haben wir Raumsonden zu vielen Orten des Sonnensystems geschickt. Einige dieser Sonden umrunden Planeten, Monde, oder sogar Asteroiden, während andere auf solchen Objekten gelandet sind. Unter den Orten innerhalb des Sonnensystems, die wir mit robotischen Sonden besucht haben (Landing, Umlaufbahn oder Vorbeiflug), sind die Sonne, alle Planeten, die Zwergplaneten Pluto und Ceres, unser Mond sowie Monde der Planeten Jupiter und Saturn, Kometen und Asteroiden.

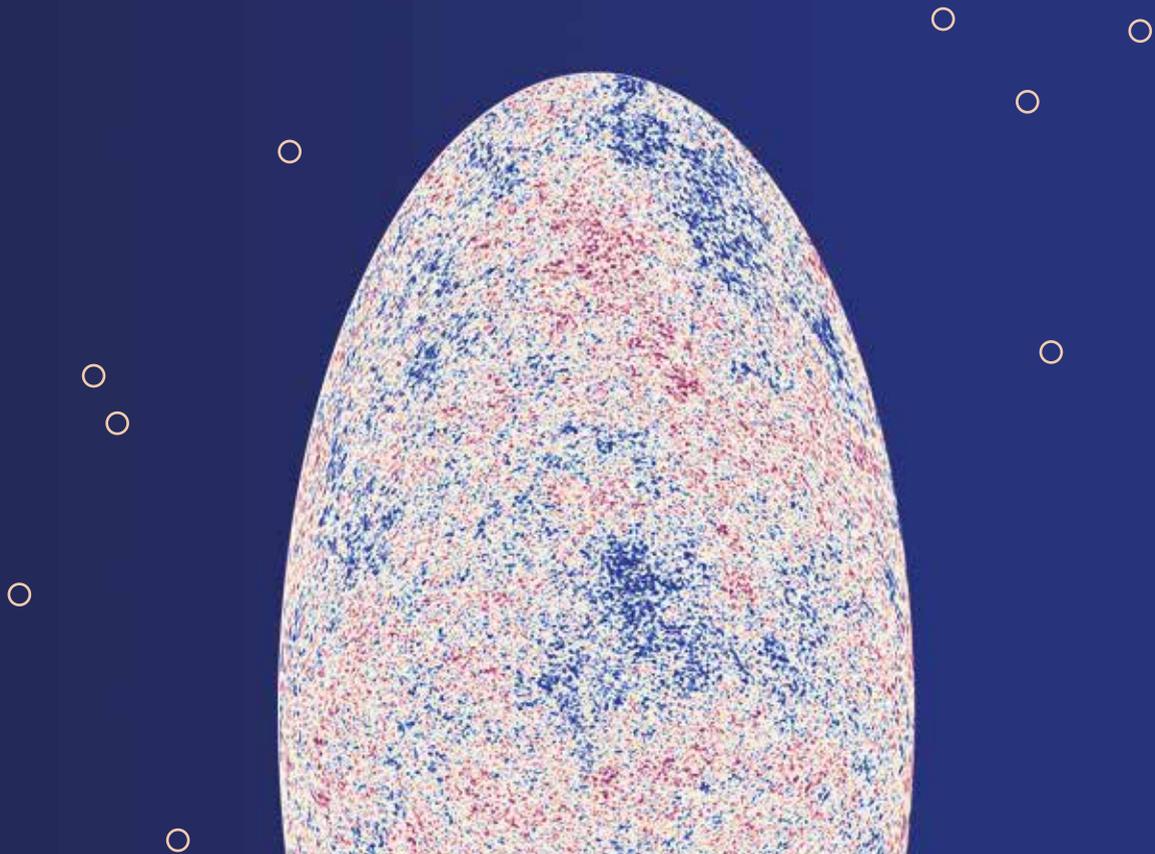
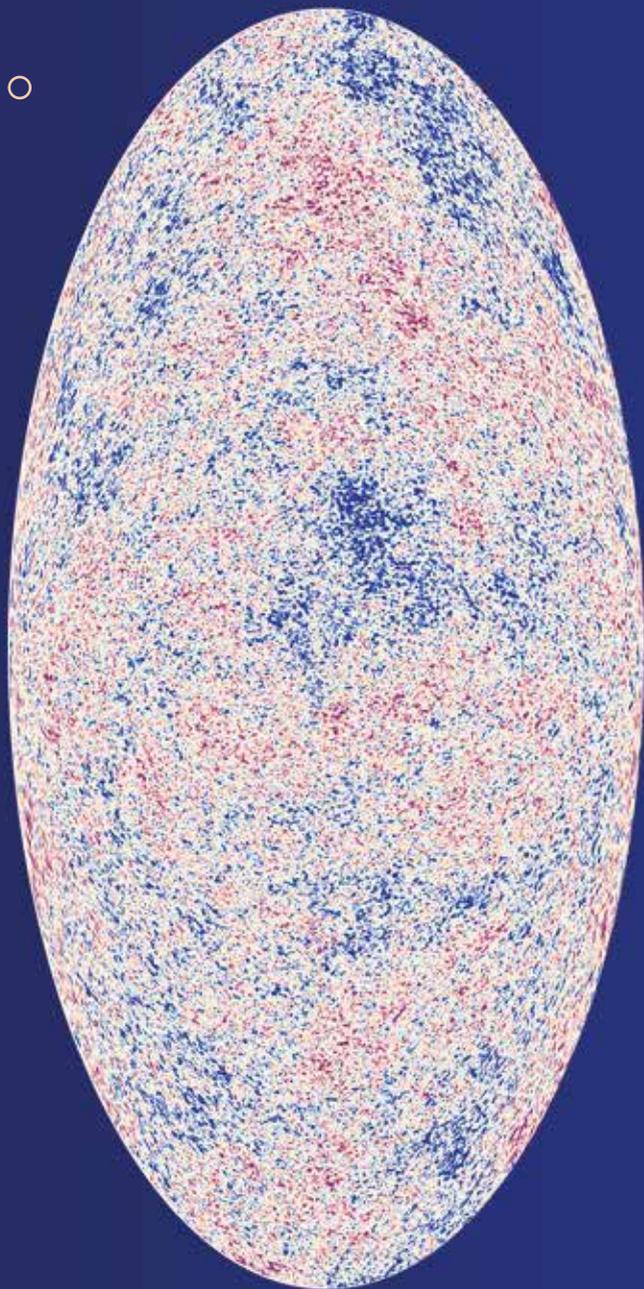
6

Kosmologie ist die Wissenschaft, die das Universum als Ganzes untersucht



Ein Bild der kosmischen Hintergrundstrahlung, eines Reliktes aus der Zeit, als das Universum etwa 380 000 Jahre alt war.

Quelle: ESA und die Planck Collaboration



6.1 Das Universum ist mehr als 13 Milliarden Jahre alt

.....

Nach neuesten Beobachtungen und den besten heute verfügbaren Modellen für die frühen Entwicklungsphasen wird das Alter des Universums auf rund 13,8 Milliarden Jahre geschätzt. Die Kosmologie ist dasjenige Forschungsfeld, das die Entwicklung und Struktur des Universums als Ganzes untersucht.

6.2 Das Universum ist auf großen Längenskalen homogen und isotrop

.....

Auf großen Längenskalen (bei Längen größer als rund 300 Millionen Lichtjahre) scheint die Materie im Universum gleichmäßig verteilt zu sein. Aufgrund dieser gleichförmigen Dichte und Struktur sieht das Universum weitgehend gleich aus, egal an welchem Ort man sich befindet (Homogenität) und in welche Richtung man schaut (Isotropie).

6.3 Wir schauen immer in die Vergangenheit

.....

Aufgrund der endlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts sehen wir Objekte nie so, wie sie gerade sind, sondern immer so, wie sie zu jener Zeit waren, als ihr Licht sich auf den Weg zu uns machte. Wir können die Sonne immer nur so sehen, wie sie vor acht Minuten war, da das Licht von der Sonne etwa acht Minuten zu uns braucht. Wir sehen die Andromeda-Galaxie so, wie sie vor 2,5 Millionen Jahren war, da ihr Licht so lange zu uns unterwegs ist. Daher schauen Astronom*innen immer in die Vergangenheit, und zwar bis zu 13,8 Milliarden Jahre zurück. Durch die Beobachtung von Objekten in unterschiedlichen Entfernungen erhalten wir einen Querschnitt durch die kosmische Geschichte. Da das Universum im Schnitt überall dieselben Eigenschaften hat, erlauben diese Beobachtungen Rückschlüsse auf unsere eigene Geschichte.

6.4 Wir können nur einen Teil des gesamten Universums direkt beobachten

.....

Da das Licht sich nur endlich schnell fortbewegt und seine Reise frühestens kurz nach dem Urknall begonnen haben kann, gibt es entfernte Regionen des Universums, die wir noch nicht haben beobachten können: Licht von diesen Regionen hatte seit dem Urknall nicht genug Zeit, um uns auf der Erde zu erreichen. Wir können lediglich Objekte innerhalb eines bestimmten Bereiches sehen, den wir das „beobachtbare Universum“ nennen. Dieser Bereich enthält alle Objekte, deren Licht genügend Zeit hatte, uns zu erreichen. Von besonderem Interesse sind Objekte am äußersten Rand des beobachtbaren Universums. Solche Objekte erscheinen uns in der Form, die sie hatten, als das Universum noch sehr jung war.

6.5 Das Universum besteht hauptsächlich aus Dunkler Energie und Dunkler Materie

Die Luft, die wir atmen, außerdem auch unsere Körper und allgemein schlicht alles, was wir um uns herum sehen, besteht aus Atomen, die ihrerseits aus Protonen, Neutronen und Elektronen bestehen. Auch die Sterne bestehen aus Atomkernen und Elektronen. Diese sogenannte baryonische Materie ist es, mit der wir im täglichen Leben zu tun haben. Wie Beobachtungen zeigen, macht sie allerdings nur 5% der Zusammensetzung des Universums aus. Das Universum ist hauptsächlich erfüllt von einer unbekannt Form von Energie, die als Dunkle Energie bezeichnet wird (rund 68%), sowie einer ungewöhnlichen Form von Materie, die wir Dunkle Materie nennen (rund 27%). Die Natur von Dunkler Energie und Dunkler Materie ist Gegenstand der aktuellen Forschung, insbesondere durch die Beobachtung ihres Einflusses auf die baryonische Materie.

6.6 Das Universum expandiert, und diese Expansion beschleunigt sich

Beobachtungsdaten zeigen, dass das Universum expandiert. Die Expansion erfolgt beschleunigt; ein Umstand, der auf die Dunkle Energie zurückgeführt wird. Im Zuge der Expansion auf großen Längenskalen entfernen sich die Galaxienhaufen voneinander. In den modernen kosmologischen Modellen nehmen die Abstände zwischen den Galaxienhaufen proportional zu einem universellen Skalenfaktor zu. Beobachtungsdaten zeigen, dass eine Galaxie sich umso schneller von uns entfernt, je größer ihr Abstand zu uns bereits ist (Hubble-Lemaître-Gesetz). Hypothetische außerirdische Beobachter in einer anderen Galaxie würden das Gleiche feststellen. Galaxienhaufen und Gruppen von Galaxien, die durch Gravitation aneinander gebunden sind, sowie die Galaxien selbst, sind nicht von der kosmischen Expansion betroffen. Innerhalb von Galaxienhaufen und Gruppen können einzelne Galaxien einander umkreisen oder sich auf Kollisionskurs zueinander befinden. Letzteres trifft beispielsweise auf die Milchstraßengalaxie und die Andromeda-Galaxie zu.

6.7 Die Expansion des Raumes bewirkt eine Rotverschiebung des Lichts ferner Galaxien

Die kosmische Expansion beeinflusst die Eigenschaften des Lichts im Universum. Licht, das uns von entfernten Galaxien erreicht, ist umso stärker rotverschoben, je weiter die betreffende Galaxie von uns entfernt ist. Diese kosmologische Rotverschiebung kann direkt als Zunahme der Wellenlänge proportional zum kosmischen Skalenfaktor verstanden werden. Sie ist der Grund dafür, dass ferne Galaxien nur im Infraroten oder im Radiowellenbereich beobachtet werden können und uns die kosmische Hintergrundstrahlung größtenteils im Mikrowellenbereich erreicht.

6.8 Die Naturgesetze (zum Beispiel die Gravitation), die wir auf der Erde untersuchen, scheinen im gesamten Universum auf gleiche Weise zu wirken

Es hat zahlreiche Versuche gegeben, um festzustellen, ob die Gesetze der Physik (beispielsweise das Gravitationsgesetz, die Thermodynamik oder der Elektromagnetismus) im ganzen Universum genauso wirken wie hier auf der Erde. Bisher stand noch keines der Ergebnisse im Widerspruch zu der Annahme, dass die fundamentalen Gesetze der Physik im gesamten Universum gelten.

6.9

Die großräumige Struktur des Universums besteht aus Filamenten, Membranen und Hohlräumen

.....

Untersuchungen des Universums im Bereich hoher Rotverschiebungen zeigen, dass die räumliche Verteilung der Galaxien auf Größenskalen von hunderten Millionen von Lichtjahren einem dreidimensionalen schwammartigen Gewebe aus Fäden (englisch: filaments), Hohlräumen (englisch: voids) und Membranen (englisch: sheets) gleicht, das von Astronom*innen als „kosmisches Netz“ bezeichnet wird. Filamente und Membranen enthalten Millionen von Galaxien. Diese großräumigen Strukturen erstrecken sich über hunderte Millionen von Lichtjahren und sind typischerweise einige zehn Millionen Lichtjahre dick. Die Filamente und Membranen bilden Grenzflächen um die Hohlräume herum. Deren Durchmesser liegen in der Größenordnung von hundert Millionen Lichtjahren, und sie enthalten nur wenige Galaxien.

6.10

Anhand der kosmischen Hintergrundstrahlung können wir das frühe Universum untersuchen

.....

Die älteste elektromagnetische Strahlung, die aus den entferntesten Regionen des für uns sichtbaren Universums zu uns dringt, ist die kosmische (Mikrowellen-)Hintergrundstrahlung. Sie ist ein Überbleibsel des heißen und dichten frühen Universums und trägt Informationen aus der Zeit, als das Universum nur etwa 380 000 Jahre alt war. Die kosmische Hintergrundstrahlung erlaubt es uns, Schlüsseigenschaften des Universums als Ganzes zu bestimmen: die Menge an Dunkler Materie, baryonischer Materie und Dunkler Energie, die Geometrie des Universums und seine aktuelle Expansionsrate. Die kosmische Hintergrundstrahlung zeigt, dass das Universum nahezu isotrop ist und liefert auf diese Weise auch indirekt den Hinweis auf seine Homogenität.

6.11

Die Entwicklung des Universums lässt sich mit dem Urknall-Modell beschreiben

.....

Nach bestem heutigem Wissen war die gesamte Materie und Energie des beobachtbaren Universums vor etwas mehr als 13 Milliarden Jahren in einem Volumen kleiner als ein Atom zusammengedrängt. Das Universum expandierte aus dieser Phase sehr hoher Temperatur und Dichte (Urknallphase) zu seinem heutigen Zustand. Die heiße, dichte frühe Phase bezeichnen wir als den Urknall. Das Modell, welches das expandierende Universum beschreibt, heißt Lambda-CDM-Modell (wobei Lambda für die Komponente der Dunklen Energie des Universums steht und CDM für Cold Dark Matter; zu deutsch: Kalte Dunkle Materie). Anders als der Begriff vermuten lässt, war die Urknallphase keine Explosion, während derer Materie in den umgebenden, zuvor leeren Raum geschleudert wurde. Stattdessen war der gesamte Raum von Anfang an mit Materie gefüllt, deren durchschnittliche Dichte sich seither mit dem Anwachsen des verfügbaren Volumens laufend verringert hat. Seit sich Galaxien gebildet haben, hat deren Abstand zueinander stetig zugenommen. Das Urknall-Modell trifft eine Reihe nachprüfbarer Vorhersagen über unser heutiges Universum, von denen die meisten anhand von Beobachtungsdaten verifiziert werden konnten.

Eine großräumige kosmische Simulation zeigt die Entwicklung eines Ausschnitts des Universums; dabei wurden Falschfarbendarstellungen der Dichte der Dunklen Materie und der Gasgeschwindigkeit miteinander kombiniert.

Quelle: Illustris Collaboration



7

*Wir leben auf einem kleinen
Planeten im Sonnensystem*

*Künstlerische Darstellung
einiger der Exoplaneten,
die den Stern TRAPPIST-1
umkreisen; das System enthält
mindestens sieben erdgroße
Gesteinsplaneten.*

Quelle: ESO/M. Kornmesser



7.1 Unser Sonnensystem entstand vor etwa 4,6 Milliarden Jahren

Durch radioaktive Datierung von Meteoriten können wir das Alter des Sonnensystems bestimmen. Dieses Alter stimmt auch mit der Datierung von Mondgestein überein und mit der Datierung der ältesten Gesteine auf der Erdoberfläche.

7.2 Das Sonnensystem besteht aus der Sonne, den Planeten, Zwergplaneten, Monden, Kometen, Asteroiden und Meteoroiden

Unser Sonnensystem besteht aus einem Zentralstern, den wir Sonne nennen, und allen Objekten, die unter dem Einfluss der Gravitation darum kreisen. Dazu zählen die Planeten und deren natürliche Satelliten, sowie die Zwergplaneten, Asteroiden, Meteoroiden und Kometen. Die Sonne stellt dabei mehr als 99,87% der Gesamtmasse des Sonnensystems.

7.3 Es gibt acht Planeten im Sonnensystem

Gemäß einer 2006 von der Internationalen Astronomischen Union getroffenen Festlegung muss ein Objekt drei Kriterien erfüllen, um als Planet zu gelten. Erstens muss es um die Sonne kreisen. Zweitens muss es genug Masse besitzen, um eine annähernd kugelförmige Gestalt anzunehmen. Drittens muss sein Schwereinfluss so stark sein, dass es die Umgebung seiner Umlaufbahn von anderen Objekten freihält. Objekte, die keine Monde sind und nur die ersten zwei Kriterien erfüllen, werden Zwergplaneten genannt. Nach ihrem Abstand von der Sonne geordnet, sind die Planeten unseres Sonnensystems: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun.

7.4 Es gibt mehrere Zwergplaneten im Sonnensystem

Alle bekannten Zwergplaneten sind kleiner als unser Erdmond, dessen Durchmesser rund 3474 Kilometer beträgt. Pluto ist aktuell der größte Zwergplanet, den wir kennen, gefolgt von Eris, Haumea, Makemake und Ceres. Alle diese Objekte sind fest, haben eine vereiste Oberfläche und ähnliche chemische Zusammensetzungen. Ceres durchläuft seine Bahn zwischen Mars und Jupiter, befindet sich also im Asteroidengürtel. Die vier anderen Zwergplaneten kann man jenseits der Neptunbahn im Edgeworth-Kuiper-Gürtel finden.

7.5 Die Planeten werden in terrestrische (Gesteins-) Planeten und Gasriesen eingeteilt

Die vier der Sonne am nächsten stehenden Planeten werden terrestrische Planeten, beziehungsweise Gesteinsplaneten genannt. Sie haben eine feste Oberfläche und bestehen größtenteils aus Gestein. Merkur hat keine Atmosphäre, Venus hat unter den Gesteinsplaneten die dichteste Atmosphäre und Mars die dünnste. Die vier erheblich größeren äußeren Planeten werden Gasriesen genannt. Sie bestehen größtenteils aus Gas (hauptsächlich Wasserstoff und Helium), und ihre Atmosphären sind sehr dicht. Alle Gasriesen sind von Ringen umgeben. Saturn hat bei weitem das eindrucksvollste Ringsystem. Seine Ringe sind selbst durch kleine Fernrohre zu sehen.

7.6 Einige Planeten haben Dutzende natürlicher Satelliten

Mit Ausnahme von Merkur und Venus haben alle Planeten mindestens einen natürlichen Satelliten, mit anderen Worten: mindestens einen Mond. Die Erde ist der einzige Planet im Sonnensystem, der nur einen einzigen Mond besitzt. Der Mars besitzt zwei Monde. Im Gegensatz zu den terrestrischen Planeten werden die Gasriesen sämtlich von zahlreichen Monden umkreist. Mit jeweils mehr als 75 bestätigten Monden sind Jupiter und Saturn die Planeten mit den meisten bekannten natürlichen Satelliten, gefolgt von Uranus und Neptun.

7.7 Die Erde ist von der Sonne aus gezählt der dritte Planet und sie hat einen großen natürlichen Satelliten, den Mond

Unser Heimatplanet ist von der Sonne aus gezählt der dritte Planet, mit einer so gut wie kreisförmigen Umlaufbahn. Die Atmosphäre der Erde besteht hauptsächlich aus Stickstoff und Sauerstoff. Die Durchschnittstemperatur auf ihrer Oberfläche, die zu über 70% von Wasser bedeckt ist, beträgt rund 15° Celsius. Der Mond ist der mit Abstand größte natürliche Satellit der Erde und der einzige Himmelskörper, den Menschen bislang betreten haben.

7.8 Es gibt Millionen von Asteroiden – Überreste aus der Frühphase des Sonnensystems

Steinerne Überreste aus der Frühphase des Sonnensystems finden sich im Asteroidengürtel, der zwischen den Umlaufbahnen von Mars und Jupiter liegt, und dem Edgeworth-Kuiper-Gürtel jenseits der Bahn des Neptun. Diese Asteroiden haben Durchmesser zwischen 10 Metern und 1000 Kilometern. Die Masse aller Asteroiden des Sonnensystems zusammengenommen ist geringer als die des Erdmondes.

7.9 Kometen sind Körper aus Eis, die, sobald sie von der Sonne erhitzt werden, einen leuchtenden Schweif ausbilden

Kometen bestehen vorwiegend aus Eis, doch sie enthalten auch Staub und Gesteinsmaterial. Das Eis ist flüchtig und verdampft unter dem Einfluss von Sonnenwind und Strahlung, wenn sich der Komet der Sonne nähert. Dadurch entstehen zwei Schweife: Der leicht gekrümmte Staubschweif liegt der Bewegungsrichtung des Kometen direkt gegenüber. Der Plasmaschweif dagegen zeigt immer von der Sonne weg, unabhängig von der Bewegungsrichtung des Kometen. Man nimmt an, dass die meisten Kometen aus zwei spezifischen Regionen stammen: dem Edgeworth-Kuiper-Gürtel jenseits der Umlaufbahn des Neptun und der Oort'schen Wolke am äußeren Rande des Sonnensystems.

7.10 Die Grenze des Sonnensystems heißt Heliopause

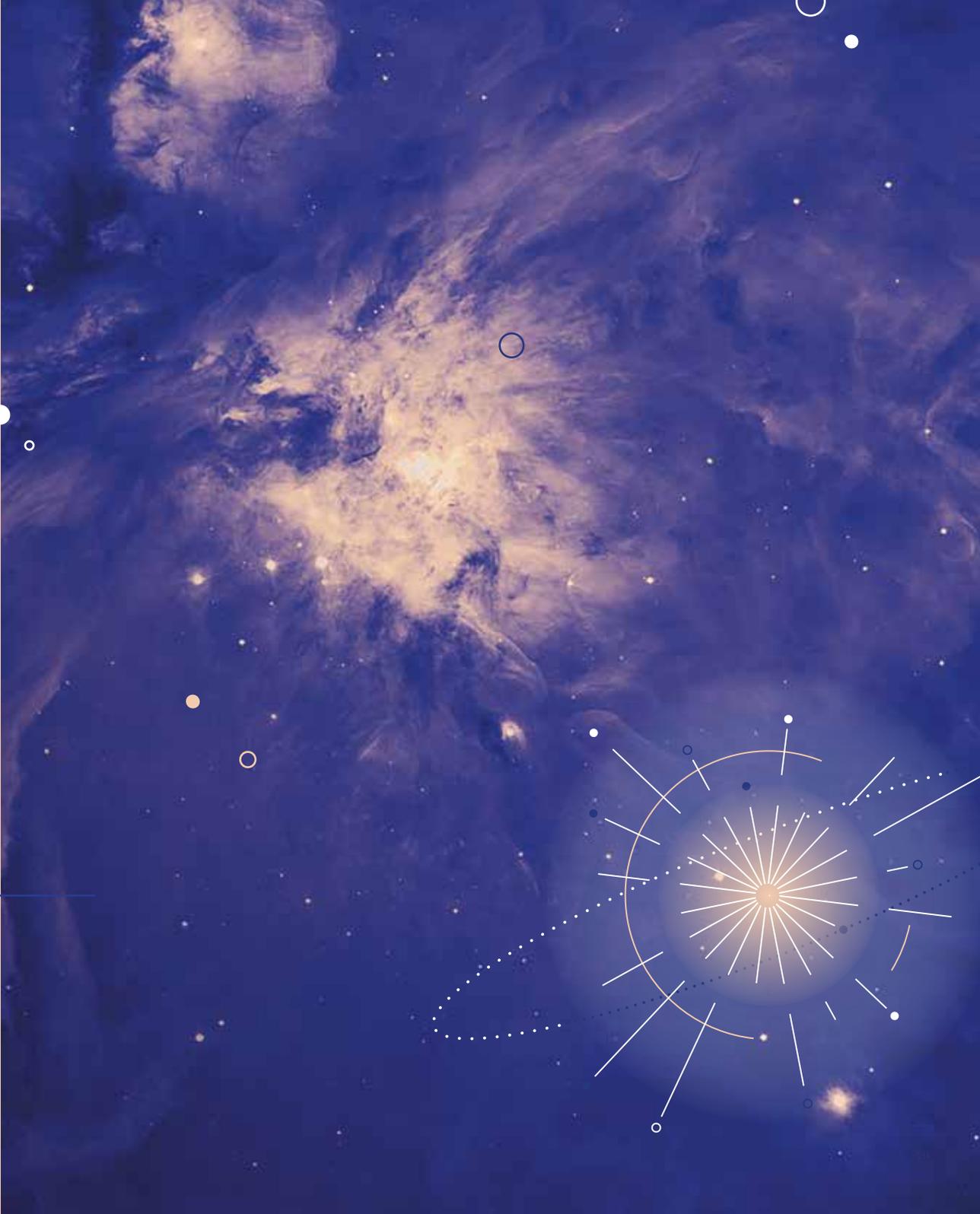
Das Magnetfeld der Sonne erstreckt sich weit über die Sonnenoberfläche hinaus. So entsteht eine Art Blase, die sogenannte Heliosphäre, die das gesamte Sonnensystem einschließt. Die Region, in der das Magnetfeld der Sonne mit dem anderer Sterne in Wechselwirkung tritt, heißt Heliohülle (engl. heliosheath). Die äußere Grenze dieser turbulenten Region ist die sogenannte Heliopause. Jenseits der Heliopause beginnt der interstellare Raum. Im Jahr 2012 durchquerte die Sonde Voyager 1 als erstes menschengemachtes Objekt die Heliopause.



*Wir bestehen alle
aus Sternenstaub*

*Der Orionnebel (M42). Diese
uns nächste Region, in der
massereiche Sterne entstehen,
ist rund 1500 Lichtjahre
entfernt.*

*Quelle: NASA, ESA, M. Robberto
(Space Telescope Science
Institute / ESA) und das
Hubble Space Telescope Orion
Treasury Project Team*



8.1 Sterne sind selbstleuchtende Körper, deren Strahlungsenergie aus Kernreaktionen in ihrem Inneren stammt

Sterne bestehen aus sehr heißem Plasma (Gas, in dem die Elektronen weitgehend von ihren Atomkernen getrennt sind), welches durch seine eigene Gravitation zusammengehalten wird. Die Energie, die Sterne über längere Zeit hinweg abstrahlen, wird bei Kernreaktionen freigesetzt, die im Kern des Sterns ablaufen. Dabei wird Wasserstoff zunächst zu Helium, dann weiter zu schwereren Elementen verschmolzen. Bei Sternen wie unserer Sonne entsteht das Helium durch die sogenannte pp-Kette, in massereicheren Sternen durch den CNO-Zyklus. Sterne werden durch den Druck stabilisiert, der sich durch die in ihrem Zentrum freigesetzte Energie aufbaut. Er wirkt der Gravitationskraft entgegen, die fortwährend versucht, den Stern in sich zusammenzuziehen. Dadurch bleiben die meisten Sterne mit ähnlicher oder geringerer Masse als die Sonne für Milliarden oder sogar Zig-Milliarden Jahre stabil.

8.2 Sterne entstehen in massereichen Wolken aus Staub und Gas

Sterne entstehen durch den Gravitationskollaps großer Molekülwolken. Während die Wolken kollabieren, teilen sie sich in Kerne auf, deren Zentralregionen immer heißer und dichter werden. Mit zunehmender Verdichtung entstehen in diesen Kernen Protosterne. Um deren Äquator bilden sich protoplanetare Scheiben aus Gas und Staub aus. Im Verlauf von Millionen von Jahren entstehen in solchen Scheiben Planeten und kleinere Körper. Erreichen Temperatur und Druck im Zentrum eines Protosterns einen kritischen Wert, setzt die Kernfusion ein und ein Stern ist geboren.

8.3 Der erdnächste Stern ist die Sonne

Mit einem Äquatordurchmesser von etwa 1,4 Millionen Kilometern ist die Sonne so groß, dass die Erde rund 1,3 Millionen Mal hineinpassen würde. Obwohl die Sonne im Vergleich zu unserem Planeten riesig groß ist, gibt es ungleich größere Sterne im Universum. Der Überriese VY Canis Majoris, einer der größten derzeit bekannten Sterne, hat etwa den 1400-fachen Durchmesser der Sonne. Würde man ihn im Mittelpunkt des Sonnensystems platzieren, läge seine Oberfläche jenseits der Jupiterbahn. Es gibt auch erheblich kleinere Sterne als die Sonne. Der unserer Sonne nächste Stern, Proxima Centauri, ist ein Roter Zwerg mit einem Durchmesser von nur rund 200 000 Kilometern. Das entspricht lediglich etwa dem 16-fachen Erddurchmesser.

8.4 Die Sonne ist ein aktiver Stern

Die Oberfläche der Sonne kann dunkle Flecken zeigen. Diese sogenannten Sonnenflecken, in denen das Magnetfeld besonders stark ist, erscheinen dunkler, weil sie kühler als die benachbarten Regionen sind. In einem Zeitraum von 11 Jahren wechseln sich auf der Sonne Phasen mit wenig oder gar keinen Sonnenflecken, dann deutlich mehr und schließlich wieder weniger Sonnenflecken ab. Verdrillen sich die Magnetfeldlinien, sammeln sich beachtliche Mengen an Energie an. Ordnen sich die Magnetfeldlinien anschließend neu an, wird diese Energie explosionsartig in Form von Helligkeitsausbrüchen freigesetzt, sogenannten Flares. Werden dabei auch größere Mengen an Materie von der Sonne weggeschleudert, spricht man von einem koronalen Massenauswurf. Aber selbst in Ruhephasen strömen pro Sekunde rund 1,5 Milliarden Kilogramm an heißem Plasma von der Sonne ab. Dieser sogenannte Sonnenwind breitet sich im Sonnensystem aus und tritt mit den Planeten in Wechselwirkung. Auch andere Sterne produzieren Flares und Sternwinde.

8.5

Die Farbe eines Sterns verrät uns seine Oberflächentemperatur

Sterne können Oberflächentemperaturen von wenigen tausend bis zu fünfzigtausend Grad Celsius haben. Heiße Sterne strahlen den größten Teil ihrer Energie im blauen und ultravioletten Teil des elektromagnetischen Spektrums ab (also bei kurzen Wellenlängen). Sie erscheinen uns daher bläulich. Kältere Sterne erscheinen uns rötlich, da sie den größten Teil ihrer Energie im Roten und Infraroten (bei langen Wellenlängen) abstrahlen.

8.6

Der Raum zwischen den Sternen kann weitgehend leer sein oder dichtere Wolken aus Gas und Staub enthalten, aus denen neue Sterne entstehen können

Der Raum zwischen den Sternen enthält Spuren von Materie in Form von Gas, Staub und hochenergetischen Teilchen (Letztere bilden die „kosmische Strahlung“). Diese Materie gehört zum sogenannten interstellaren Medium. Sie kann in unterschiedlichen Teilen der Galaxie mehr oder weniger dicht sein. Die Dichte selbst der dichtesten Bereiche des interstellaren Mediums ist allerdings immer noch tausendmal geringer als jene des besten jemals in einem irdischen Labor erzeugten Vakuums.

8.7

Jeder Stern durchläuft einen Lebenszyklus, der weitgehend von seiner Ursprungsmasse bestimmt wird

Computersimulationen zeigen, dass die ersten Sterne nur einige Millionen Jahre lang existierten. Die durchschnittliche Lebenserwartung eines Sterns wie unserer Sonne liegt dagegen bei etwa 10 Milliarden Jahren. Rote Zwerge noch geringerer Masse können sogar Billionen Jahre alt werden. Ein Stern mit ähnlicher Masse wie unsere Sonne wird sich später zum Roten Riesen entwickeln und anschließend den größten Teil seiner Masse ins All abgeben. Am Ende bleibt er als kompakter Weißer Zwerg zurück, der von einem sogenannten Planetarischen Nebel umgeben ist. Ein Stern mit mindestens acht Sonnenmassen wird sich zu einem Roten Überriesen entwickeln, bevor er als Supernova explodiert und als Neutronenstern oder als Schwarzes Loch endet.

8.8

Sehr massereiche Sterne können ihren Lebenszyklus als stellare Schwarze Löcher beenden

Ein Schwarzes Loch ist ein Raumbereich, dessen extrem starkes Gravitationsfeld alles, was hineinfällt, selbst Licht, daran hindert, den Bereich jemals wieder zu verlassen. Der sogenannte Ereignishorizont grenzt das Schwarze Loch vom Rest des Alls ab. Was einmal hineingelangt ist, müsste sich schon schneller als Licht bewegen, um wieder nach außen zu gelangen. Modelle sagen vorher, dass sich im Zentrum eines Schwarzen Loches eine Singularität befindet, bei der die Materiedichte und Raumkrümmung gegen Unendlich streben. Stellare Schwarze Löcher haben Massen in der Größenordnung einiger zehn Sonnenmassen und einen Radius von ein paar Kilometern bis zu einigen Dutzend Kilometern (abhängig von ihrer Masse).



8.9

Neue Sterne und ihre Planetensysteme entstehen aus Materie, die von früheren Sternengenerationen in den interstellaren Raum abgegeben wurde

Abgesehen von Wasserstoff, dem größten Teil des Heliums und kleineren Mengen an Lithium, wurden alle Elemente des heutigen Universums durch Kernfusion im Inneren von Sternen erzeugt. Sterne relativ kleiner Masse, wie unsere Sonne, erzeugen durch Kernfusion Elemente bis hin zum Sauerstoff. Massereiche Sterne können auch schwerere Elemente als Sauerstoff produzieren, bis hin zu Eisen. Elemente schwerer als Eisen, wie Gold und Uran, werden bei hochenergetischen Supernova-Explosionen und Zusammenstößen von Neutronensternen produziert. Bei ihrem Tod führen alle diese Sterne den größten Teil ihrer Masse wieder der interstellaren Materie zu. Daraus entstehen in einer Art kosmischem Recyclingprozess wieder neue Sterne.

8.10

Der menschliche Körper besteht aus Atomen, die im Inneren früherer Sterne erzeugt wurden

Alle Elemente außer Wasserstoff und Helium sowie einem kleinen Anteil des vorhandenen Lithiums wurden größtenteils im Inneren von Sternen erzeugt und während deren letzten Lebensphasen ins All freigesetzt. So entstanden insbesondere die meisten Elemente, aus denen unser Körper besteht, wie das Kalzium unserer Knochen, das Eisen in unserem Blut und der Stickstoff in unserer DNA. Auch die Elemente, aus denen andere Tiere, Pflanzen, ja die meisten Dinge um uns herum bestehen, wurden vor Milliarden von Jahren tief im Inneren früherer Sterne erzeugt.

*Das Sternentstehungsgebiet
NGC2264.*

Quelle: ESO / MPIA



9

*Es gibt hunderte von Milliarden
Galaxien im Universum*

*Im Hubble Ultra Deep
Field, einer sehr lange
belichteten Aufnahme einer
kleinen Himmelsregion
(nicht einmal 1/10 des
Vollmond-Durchmessers)
sind annähernd zehntausend
Galaxien zu erkennen.*

*Quelle: NASA, ESA, S. Beckwith
(STScI) und das HUDF-Team*



9.1 Galaxien sind große Systeme aus Sternen, Staub und Gas

Galaxien enthalten wenige Millionen bis hunderte von Milliarden Sterne, die durch ihre wechselseitige Gravitationsanziehung aneinander gebunden sind. Die Sterne wiederum können zu Sternhaufen gehören oder in lockeren Assoziationen ihre Heimatgalaxie durchziehen. Galaxien enthalten außerdem interstellaren Staub und Gas, die Überreste früherer Sterne sowie Dunkle Materie. Viele Galaxien haben in ihren Zentren ein supermassereiches Schwarzes Loch.

9.2 Galaxien enthalten offenbar große Mengen an Dunkler Materie

Dunkle Materie ist eine Sorte von Materie, die keine elektromagnetische Strahlung emittiert, absorbiert oder streut. Daher ist sie durch direkte Beobachtung nicht nachweisbar. Aber Dunkle Materie besitzt Masse, und deren Gravitationswirkung auf sichtbare Objekte lässt sich nachweisen. Sie macht sich durch veränderte Geschwindigkeiten von sichtbaren Objekten ebenso bemerkbar wie durch die Verzerrungen von Bildern ferner Objekte aufgrund des Gravitationslinsen-Effekts. Galaxien sind in weit größere Halos aus Dunkler Materie eingebettet – gewissermaßen bildet ihre sichtbare Materie nur die sprichwörtliche Spitze des Eisbergs.

9.3 Die Entstehung von Galaxien ist ein evolutionärer Prozess

Während der ersten paar hundert Millionen Jahre der Geschichte des Universums gruppierte sich die Dunkle Materie zu zahlreichen größeren und dichteren Regionen, die Halos genannt werden. Als in diese Halos diffuses Wasserstoff- und Heliumgas einströmte, entstanden daraus die ersten Galaxien und Sterne. Größere Spiralgalaxien wie die Milchstraße wachsen, indem sie immer wieder kleinere Galaxien anziehen und sich einverleiben. Große elliptische Galaxien entstanden, und entstehen weiterhin, aus der Kollision und Verschmelzung massereicher Galaxien. Je nach vorhandenen Gasreserven und abhängig von der Aufheizung durch explodierende Sterne oder durch die Aktivität im galaktischen Zentrum bilden solche Galaxien neue Sterne mit einer erhöhten oder verringerten Rate.

9.4 Es gibt drei Haupttypen von Galaxien: Spiralgalaxien, elliptische und irreguläre Galaxien

Abhängig von ihrem Aussehen werden Galaxien in Spiralgalaxien, elliptische und irreguläre Galaxien eingeteilt. Diese Galaxientypen unterscheiden sich nicht nur durch ihre Form, sondern auch durch ihre Bestandteile. Spiralgalaxien bestehen aus flachen Scheiben, von deren Zentren mehr oder weniger ausgeprägte und zahlreiche Spiralarme ausgehen. Die Spiralarme sind vornehmlich von hellen jungen Sternen besetzt und enthalten große Mengen an Gas und Staub. Dagegen enthalten elliptische Galaxien weniger Gas; ihre Sterne sind meist alt und verteilen sich über ein Gebiet mit der Form eines Ellipsoids oder einer Kugel. Wieder andere Galaxien, einschließlich der meisten Zwerggalaxien, weisen keine dieser beiden Standardformen auf und werden als irregulär bezeichnet.

9.5 Wir leben in einer Spiralgalaxie, die wir Milchstraße nennen

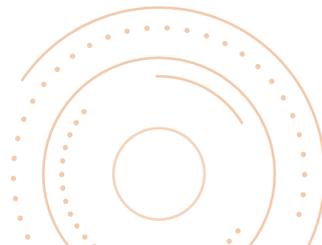
Unsere Milchstraße ist eine Spiralgalaxie mit einer länglichen Zentralstruktur, die Balken genannt wird. Das Sonnensystem befindet sich rund 25 000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt in einem der Spiralarme. Der sichtbare Teil unserer Galaxie ist eine scheibenförmige Ansammlung von Sternen mit einem Durchmesser von rund 100 000 bis 120 000 Lichtjahren und einer Dicke von nur etwa 2000 Lichtjahren. In dieser Scheibe bilden junge Sterne und Staub die Spiralarme. In einer dunklen Nacht und von einem geeigneten dunklen Ort aus können wir nur einen winzigen Teil der mehr als 100 Milliarden Sterne der galaktischen Scheibe als milchiges Band am Himmel erkennen. Das ist unser Ausblick auf unsere Heimatgalaxie.

9.6 Die Spiralarme von Galaxien entstehen durch die Verdichtung von interstellarem Gas und Staub

Eine weithin akzeptierte Theorie zur Bildung von Spiralarmen ist, dass sie das Ergebnis von Dichtewellen sind, die sich durch die Scheibe der Galaxie ausbreiten und dabei interstellares Gas und Staub anhäufen, ähnlich einem Verkehrsstau auf einer Autobahn. Dadurch entstehen dichtere, spiralförmig angeordnete Regionen interstellarer Materie, die man dann als Spiralarme sieht. Sie enthalten eine Menge Gas und Staub, aus denen schnell neue Sterne entstehen. Daher enthalten die Spiralarme auch viele junge, helle Sterne – deren Vorhandensein zeigt an, dass die Sternentstehungsrate in den Spiralarmen hoch ist.

9.7 Die meisten Galaxien haben ein supermassereiches Schwarzes Loch in ihrem Zentrum

Eine typische Galaxie enthält schätzungsweise 100 Millionen stellarer Schwarzer Löcher. Diese Art von Schwarzen Loch entsteht, wenn ein kurzlebiger, massereicher Stern sein Leben in einer Supernova-Explosion beendet. Einzelne supermassereiche Schwarze Löcher hingegen findet man in den Zentren der meisten Galaxien. Die Massen jener Schwarzen Löcher betragen wenige Millionen bis hin zu über einer Milliarde Sonnenmassen. Das Schwarze Loch im Zentrum unserer Milchstraße hat eine Masse von etwa 4 Millionen Sonnenmassen. Das erste direkte Bild vom Schatten des Ereignishorizonts eines Schwarzen Lochs, nämlich desjenigen im Zentrum der riesigen elliptischen Galaxie M87, wurde im Jahr 2019 durch die Kombination der Daten von acht Radioteleskopen rund um den Globus aufgenommen.



9.8

Galaxien können extrem weit entfernt sein

Der nächste Nachbar der Milchstraße ist die Zwerggalaxie im Sternbild Canis Major (Großer Hund), in einer Entfernung von rund 25 000 Lichtjahren. Entfernte Galaxien sehen wir nur noch sehr lichtschwach; sie sind daher schwierig zu beobachten. Bilder von ihnen lassen sich nur mit den größten Teleskopen erhalten, die ein entsprechend hohes Auflösungsvermögen besitzen. Außerdem sind typischerweise lange Belichtungszeiten erforderlich.

9.9

Galaxien bilden Haufen

Galaxien sind nicht zufällig im Universum verteilt. Die durchschnittliche Galaxie ist Teil eines Galaxienhaufens. Solche Haufen bestehen aus hunderten, manchmal sogar tausenden von Galaxien, die durch ihre Schwerkraft aneinander gebunden sind. Haufen von Galaxien bilden ihrerseits größere Strukturen, die man Superhaufen nennt. Die Milchstraße ist Teil der sogenannten Lokalen Gruppe, die mehr als 54 Galaxien enthält. Die Lokale Gruppe ist eine Randgruppe des Virgo-Haufens, der wiederum Teil des Virgo-Superhaufens ist, und jener wiederum ist Teil des Laniakea-Superhaufens.

9.10

Galaxien wechselwirken miteinander über Gravitation

Wechselwirkungen zwischen Galaxien beeinflussen deren Erscheinungsbild und Entwicklung. In der Vergangenheit wurde vermutet, dass eine Galaxie eines Typs sich im Laufe ihrer Entwicklung in einen anderen Typ verwandeln könne. Nach unserem heutigen Kenntnisstand sind dagegen Gravitations-Wechselwirkungen für die Entstehung von Galaxien bestimmten Typs verantwortlich. Zum Beispiel kann die Verschmelzung zweier großer Spiralgalaxien zur Entstehung einer elliptischen Galaxie führen. Solche Ereignisse können in den beteiligten Galaxien gleichzeitig eine Phase intensiver Sternentstehung auslösen.

Überlagerung von optischen Aufnahmen von Centaurus A (NGC 5128) und den im Radio- und Röntgenbereich kartierten Keulen und Jets, die in der unmittelbaren Umgebung des zentralen Schwarzen Loches der aktiven Galaxie ihren Anfang nehmen.

Quelle: ESO/WFI (optisch); MPIfR/ESO/APEX/A.Weiss et al. (Submillimeter); NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al. (Röntgen)





10

*Wir sind vielleicht nicht
allein im Universum*



Dieses Bild der Cassini-Sonde zeigt das Erde-Mond-System von Saturn aus gesehen, aus einer Entfernung von fast anderthalb Milliarden Kilometern.

Quelle: NASA / JPL-Caltech / Space Science Institute



10.1 Organische Moleküle wurden auch außerhalb der Erde entdeckt

Organische Moleküle enthalten Kohlenstoff, den elementaren Baustein des Lebens, wie wir es kennen. Beobachtungen des interstellaren Mediums zeigen, dass dort organische Moleküle vorhanden sind, zum Beispiel die Vorläufer einfacher Aminosäuren. Organische Moleküle, einschließlich einer Aminosäure wurden auch in Kometen und Meteoriten gefunden. Es ist sehr wahrscheinlich, dass solche Moleküle bereits in der Wolke aus Gas und Staub vorhanden waren, aus der das Sonnensystem entstanden ist.

10.2 Einige Organismen können in extremen Umgebungen auf der Erde und sogar im Weltraum überleben

Während die meisten irdischen Lebensformen in Bezug auf ihre Umgebungsbedingungen empfindlich sind, können einige Organismen, Extremophile genannt, auch unter extremen Bedingungen überleben. Sie beweisen, dass Leben selbst dort existieren kann, wo wir es am wenigsten erwarten. Solche Organismen können einen weiten Bereich an Temperaturen, Drücken, pH-Werten und Strahlenbelastung tolerieren. Einige von ihnen kommen in der Wüste, an den Polen, in der Tiefsee, in der Erdkruste und sogar in Vulkanen vor. Für mehrere Spezies konnte gezeigt werden, dass sie sogar im Vakuum des Weltalls überleben können. Diese Fakten geben Anlass zu vorsichtigem Optimismus, was das Leben auf anderen Planeten und auf Monden anbelangt, die oftmals vergleichsweise harsche Lebensbedingungen aufweisen.

10.3 Mögliche Spuren flüssigen Wassers deuten darauf hin, dass es auf dem Mars primitives Leben geben könnte, oder gegeben haben könnte

Flüssiges Wasser ist eine entscheidende Voraussetzung für die Entwicklung von Leben wie wir es kennen. Entsprechend ist die Suche nach flüssigem Wasser auf anderen Planeten und ihren Monden ein wichtiges Teilziel auf der Suche nach extraterrestrischem Leben. Über die Jahre hinweg wurden auf dem Mars mögliche Spuren flüssigen Wassers gefunden. Ob es dort heute noch flüssiges Wasser gibt, ist stark umstritten. Die gefundenen Spuren sprechen dafür, dass es einmal einfache Lebensformen auf dem Mars gegeben haben könnte. Existiert tatsächlich auch heute noch flüssiges Wasser auf dem Mars, könnte es dort auch jetzt noch Leben geben.

10.4 Einige natürliche Satelliten im Sonnensystem scheinen geeignete Bedingungen für die Existenz von Leben aufzuweisen

Einige der vielen Monde, welche die Riesenplaneten des Sonnensystems umkreisen, weisen Eigenschaften ähnlich denen terrestrischer Planeten auf – zum Beispiel dichte Atmosphären und vulkanische Aktivität. Europa, einer der größten Jupitermonde, hat eine gefrorene Oberfläche, die einen flüssigen Ozean bedecken dürfte. Wissenschaftler*innen nehmen an, dass in diesem Ozean geeignete Bedingungen für einfache Lebensformen herrschen könnten. Ein weiterer Kandidat für einfaches Leben ist Titan, der größte Saturnmond. Titan ist reich an komplexen organischen Verbindungen und besitzt eine dichte Atmosphäre, sowie flüssiges Methan an der Oberfläche. Einige Forscher*innen vermuten sogar, er könnte unter seiner Oberfläche über einen Ozean aus Wasser verfügen.

10.5

Es gibt zahlreiche Planeten, Exoplaneten genannt, die andere Sterne umkreisen

Seit der Entdeckung des ersten Planeten, der einen fremden Stern umkreist, wurden tausende weitere solcher sogenannten Exoplaneten gefunden. Die Zahl der entdeckten Exoplaneten steigt ständig und mit wachsender Geschwindigkeit. Inzwischen haben wir hinreichend viele Daten, um die Population der Exoplaneten in der näheren Umgebung unseres Sonnensystems charakterisieren zu können, mit anderen Worten: um allgemeine statistische Aussagen zu den Eigenschaften jener Exoplaneten treffen zu können.

10.6

Exoplaneten haben vielfältige Eigenschaften und treten meist als Teil von Planetensystemen auf

Die physikalischen Eigenschaften und die Bahnparameter von Exoplaneten sind äußerst vielfältig. Massenwerte von der Masse des Merkur bis zum Vielfachen der Jupitermasse, Radien zwischen einigen hundert Kilometern und einem Mehrfachen des Jupiterradius zeigen, wie unterschiedlich Exoplaneten sein können. Ihre Umlaufzeiten um ihren Stern betragen in einigen Fällen nur ein paar Stunden. Einige Exoplaneten-Bahnen sind so langgestreckt (exzentrisch) wie die von Kometen im Sonnensystem. Die meisten Exoplaneten treten in Systemen auf, in denen mehrere Planeten denselben Stern umkreisen.

10.7

Wir sind nahe daran, erdähnliche Planeten zu entdecken

Durch die stete Weiterentwicklung der Nachweismethoden sind wir inzwischen in der Lage, Planeten so vergleichsweise geringer Masse und Größe wie die Erde zu entdecken. Unsere Suche, so eingeschränkt sie bislang sein mag, hat bereits gezeigt, dass es in der Nachbarschaft unseres Sonnensystems von Planeten nur so wimmelt. Einige dieser Planeten umlaufen ihre Sterne sogar innerhalb der sogenannten habitablen Zone. Definitionsgemäß liegt die Umlaufbahn eines Planeten innerhalb der habitablen Zone, wenn er von seinem Stern gerade soviel Strahlung empfängt, dass die innerhalb seiner Atmosphäre herrschende Temperatur die Existenz von flüssigem Wasser zulässt.

10.8

Wissenschaftler*innen suchen nach extraterrestrischer Intelligenz

Eine Möglichkeit der Suche nach extraterrestrischen Zivilisationen besteht darin, nach Signalen Ausschau zu halten, die nicht auf irgendein bekanntes astronomisches Phänomen zurückgeführt werden können. Diese Art systematischer Suche nennt sich Search for Extraterrestrial Intelligence (SETI, zu deutsch „Suche nach außerirdischer Intelligenz“). Bislang ist noch kein solches Signal gefunden worden, aber SETI-Projekte suchen den Himmel weiterhin nach einem Hinweis auf hochentwickeltes Leben jenseits der Erde ab.

11

*Wir müssen die Erde, unsere
einzige Heimat im Kosmos,
bewahren*

*Nachtseite der Erde,
von der Internationalen
Raumstation aus gesehen.
Die menschengemachte
Beleuchtung in Südkorea und
Japan ist deutlich zu erkennen.*

Quelle: NASA



11.1

Lichtverschmutzung beeinträchtigt Menschen, Tiere und Pflanzen

Über Millionen Jahre hinweg hat sich das Leben auf der Erde ohne künstliche Beleuchtung entwickelt. Die meisten Arten haben sich dabei an den Tages- und Nachtrhythmus angepasst. Aber seit der Erfindung der Elektrizität haben die Menschen die nächtliche Dunkelheit zunehmend mit künstlichem Licht erhellt – und damit das Problem der Lichtverschmutzung geschaffen, mit ernststen Folgen für die Umwelt, das Verhalten von Tieren und die menschliche Gesundheit. Die meisten Tierpopulationen sind abhängig vom Wechsel von Tag und Nacht. Künstliches Licht kann Physiologie, Fortpflanzung, Orientierung und Jagdverhalten in Wildtierpopulationen auf der ganzen Welt empfindlich stören. Mit zunehmender Lichtverschmutzung verlieren wir auch den dunklen Nachthimmel, den unsere Vorfahren noch kannten. In und um viele Städte ist die Milchstraße heute mit bloßem Auge nicht mehr zu erkennen.

11.2

Zahlreiche menschengemachte Trümmer befinden sich in Umlaufbahnen um die Erde

Seit Beginn der Raumfahrt konnte die Menschheit zahlreiche Objekte mittels Raketen ins All befördern. Seither hat allerdings auch die Menge an menschengemachten Trümmern im All drastisch zugenommen, etwa Teile von Raketen oder alten Satelliten. Derzeit kreisen geschätzte 500 000 Trümmerteile, auch Weltraumschrott genannt, um die Erde. Da Weltraumschrott mit hohen Geschwindigkeiten unterwegs ist, können Zusammenstöße mit Raumschiffen oder Satelliten erhebliche Schäden anrichten. Das stellt besonders für die Internationale Raumstation und andere Raumfahrzeuge mit astronautischer Besatzung eine Gefahr dar. Die Überwachung von Weltraumschrott sowie die Entwicklung von Technologien, mit denen sich Weltraumschrott und ausgediente Satelliten einsammeln lassen, ist ein aktives Forschungs- und Entwicklungsgebiet.

11.3

Wir überwachen potenziell gefährliche Objekte im Weltraum

Während der frühen Phasen der Entwicklung des Sonnensystems wurden die gerade erst entstandenen Planeten häufig von kleineren Körpern wie Asteroiden getroffen. Einige Krater auf der Erde und alle Krater auf dem Mond sind der direkte Beweis, dass solche Einschläge höchst gefährlich sein können. Das Massenaussterben der meisten Dinosaurierarten dürfte auf den Einschlag eines großen Asteroiden vor rund 65 Millionen Jahren zurückgehen. Heutzutage ist die Wahrscheinlichkeit eines Einschlags dieses Ausmaßes sehr gering. Trotzdem ist es wichtig, die Bahnen aller Himmelskörper zu überwachen, die der Erde potenziell gefährlich werden könnten. Innerhalb der nächsten Jahre sollten die Überwachungsprogramme der Raumfahrtbehörden, Observatorien und anderer Institutionen in der Lage sein, alle potenziell gefährlichen Asteroiden größer als einen Kilometer zu identifizieren. Keiner der bekannten Asteroiden befindet sich derzeit auf Kollisionskurs mit der Erde.

11.4

Menschen haben einen beträchtlichen Einfluss auf die Umweltbedingungen auf der Erde

Die Industrialisierung hat uns zahlreiche Vorteile gebracht. Sie hat allerdings auf der Erde auch gravierende Umweltprobleme geschaffen. Durch die Verschmutzung der Flüsse, der Ozeane und der Atmosphäre sowie durch Entwaldung zerstören wir die lebenswichtigen Quellen von sauberer Luft, sauberem Wasser und Nahrung, die für das Leben auf der Erde nötig sind. Die Menschheit hat das Aussterben zahlreicher Spezies verursacht und gräbt noch immer in bedrohten Lebensräumen nach Erzen und Energieressourcen. Die menschengemachte globale Erwärmung verändert großräumig unsere Umwelt und gefährdet damit uns selbst und viele andere Arten.

11.5

Die Aktivitäten des Menschen haben beträchtlichen Einfluss auf die Atmosphäre und damit auf das Klima

Ohne Atmosphäre wäre unser Planet eine Eiswüste mit einer Durchschnittstemperatur von -18°C . Doch die Treibhausgase der Atmosphäre absorbieren einen Teil der vom Boden abgegebenen Wärmestrahlung und strahlen sie zurück in Richtung Erdoberfläche. Dieser Treibhauseffekt schafft eine deutlich höhere Durchschnittstemperatur und macht die Erde damit überhaupt erst bewohnbar. Allerdings haben menschliche Aktivitäten die Menge an Treibhausgasen in der Erdatmosphäre deutlich ansteigen lassen. Dadurch hat sich das Gleichgewicht des Energiehaushalts der Erde verschoben. Dadurch wird ein größerer Anteil der Sonnenenergie auf der Erde zurückbehalten, und das führt zu höheren Temperaturen an der Erdoberfläche. Die Erde kann die zusätzliche Energie nicht auf natürliche Weise abstrahlen. Entsprechend ändern sich die globalen Klimamuster, die auf eine solche Verschiebung der Energiebilanz empfindlich reagieren.

11.6

Um unseren Planeten zu bewahren, müssen wir eine globale Perspektive einnehmen

Jede einzelne Person ist Bewohner*in dieses Planeten. Die Konzepte von globaler Fürsorge und Verantwortung können uns helfen zu verstehen, dass jeder Einzelne etwas dazu beitragen kann, unsere globalen Probleme zu lösen – ob als Teil einer Gruppe oder als Einzelperson. Wir müssen die Erde für unsere Nachfahren bewahren. Noch ist die Erde der einzige Planet im Kosmos, von dem wir mit Sicherheit wissen, dass auf ihm Leben möglich ist.

11.7

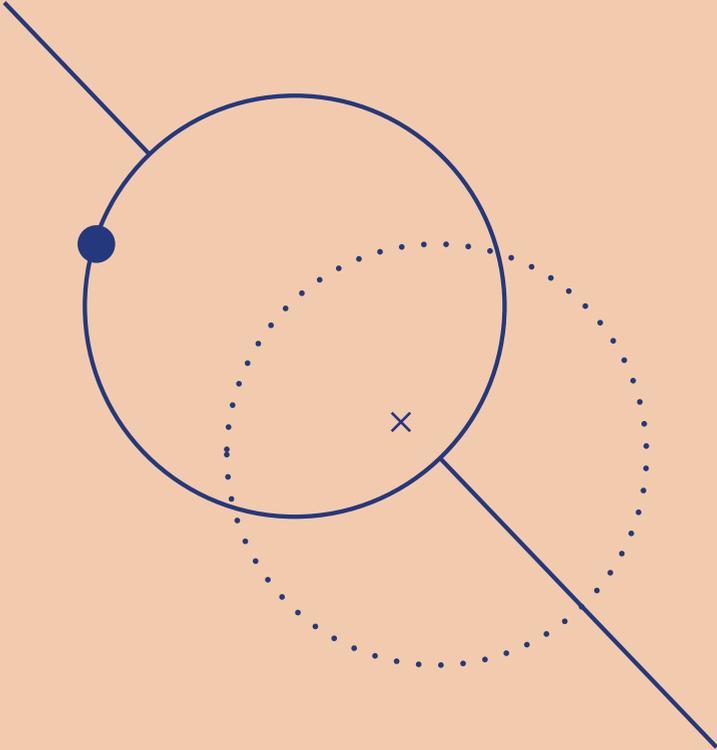
Die Astronomie bietet uns eine einzigartige kosmische Perspektive, die unsere Gemeinsamkeit als Bürger*innen dieser Erde hervorhebt

Alle Menschen dieser Erde leben unter demselben Himmel und teilen denselben Blick in die Tiefen des Kosmos. Bilder aus dem All, die unseren Heimatplaneten als „blaue Kugel“ zeigen, führen uns so eindrucksvoll wie nie zuvor unser gemeinsames Raumschiff Erde vor Augen. Aus dieser Außenperspektive verschwinden die Grenzen zwischen den einzelnen Ländern. Bilder von Raumsonden wie Voyager 2 und Cassini helfen uns zu verstehen, dass der „pale blue dot“, der „blasse blaue Punkt“ unseres Heimatplaneten nur ein winziges Staubkorn in den Weiten des Kosmos ist.

x

x

x



x

x

x

x

x

