



ZEIT AKADEMIE

Astronomie

Eine Reise durch unser Universum

Klassikseminar mit Prof. Dr. Anna Frebel

12 Lektionen: Online • DVD • Buch



Die Astronomie ist eine Wissenschaft, die an die Grenzen geht – an die Grenzen des für den menschlichen Verstand Fassbaren. Wer kann sich schon eine Distanz von 25 000 Lichtjahren oder 200 Milliarden Kilometern vorstellen, die Entfernung unseres Sonnensystems vom Zentrum der Milchstraße? Die Dimensionen, mit denen es die Astronomen zu tun haben, sind wahrhaft gewaltig. Allein unsere Galaxie, die Milchstraße, besteht aus etwa 300 Milliarden Sternen. Und sie ist nur eine von Hunderten von Milliarden Galaxien!

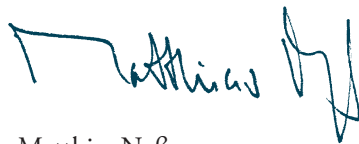
Am Beginn des Universums stand der Urknall vor 13,8 Milliarden Jahren. Seither dehnt sich das Universum aus, mit zunehmender Geschwindigkeit. Aber was war vor dem Urknall? Was befindet sich jenseits des Universums?

Und natürlich treibt uns Menschen die Frage um: Sind wir allein im Universum? Die Antwort der Astronomie: Wahrscheinlich nicht, es wäre merkwürdig, wenn sich in den Weiten des Alls nicht eine große Zahl bewohnbarer Planeten verbergen würde.

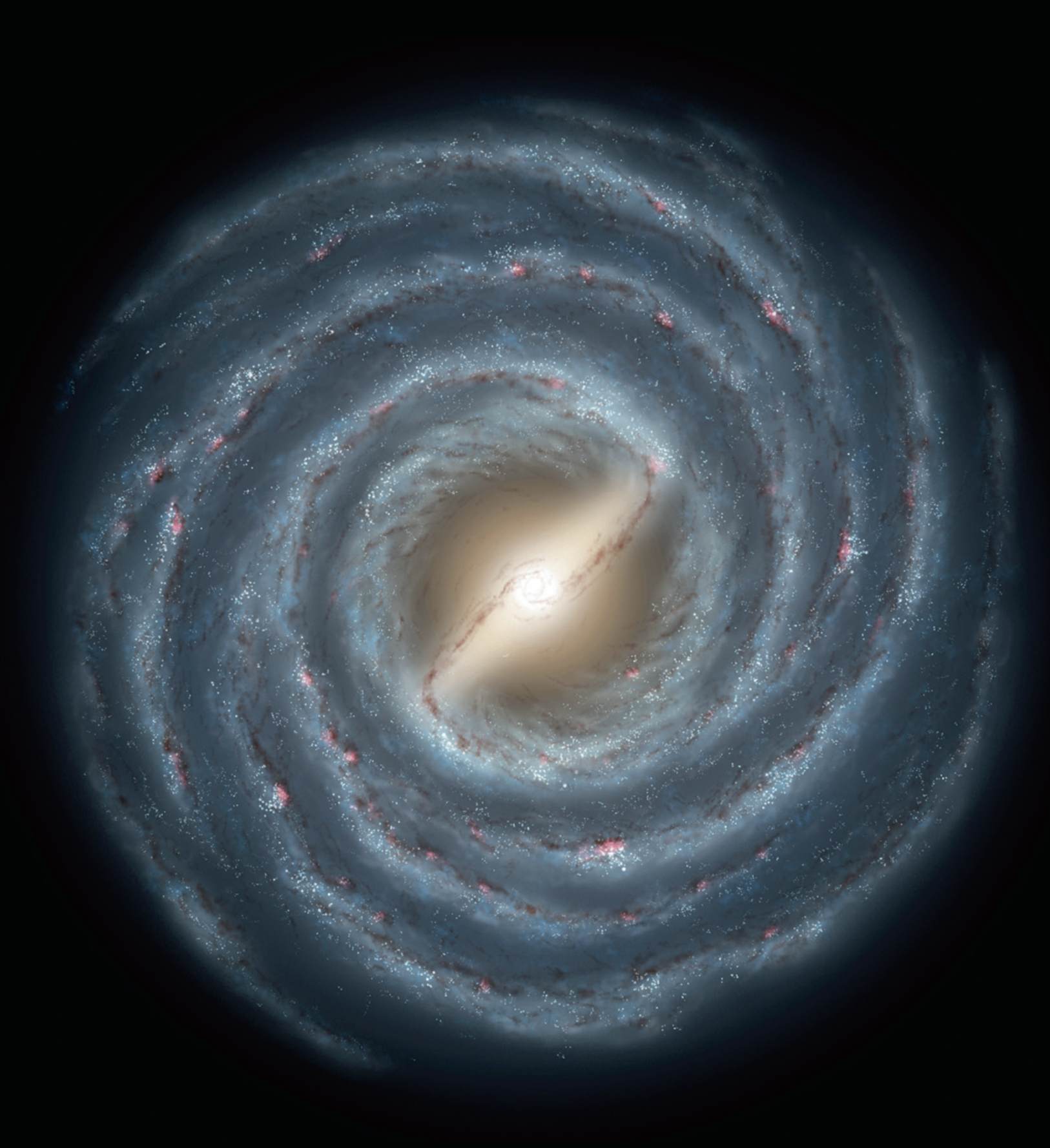
Anna Frebel, die am Massachusetts Institute of Technology forscht und lehrt, gehört zu den führenden Astronomen der Gegenwart. Die junge Deutsche, für die Amerika zur wissenschaftlichen Heimat geworden ist, hat gleich zweimal mit ihrem Team den bis dahin ältesten Stern entdeckt. Ihre Arbeit findet vor allem am Computer statt. Dennoch haben die Beobachtungsnächte, etwa am Magellan-Teleskop in der Atacama-Wüste von Chile, bis heute für sie nichts von ihrer Faszination verloren.

Begleiten Sie Anna Frebel auf der faszinierenden Reise an die Grenzen von Zeit und Raum.

Ich heiße Sie bei der ZEIT Akademie herzlich willkommen!

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Matthias Naß', with a stylized flourish at the end.

Matthias Naß
Wissenschaftlicher Leiter





Inhalt

1	Lektion 1	Faszination Astronomie Eine Wissenschaft der Extreme	17
	Lektion 2	Das Sonnensystem Unsere kosmische Heimat	23
	Lektion 3	Spektroskopie und Lichtanalyse in der modernen Astronomie Was das Licht uns lehrt	29
2	Lektion 4	Die Suche nach der zweiten Erde Exoplaneten und fremde Welten	37
	Lektion 5	Der Anfang des Universums Der Urknall	42
	Lektion 6	Sterne Der kosmische Ursprung des Menschen	49

3

Lektion 7	Teleskope Wie Astronomen das All auf die Erde holen	59
Lektion 8	Kosmische Senioren Was uns die ältesten Sterne über das frühe Universum verraten	65
Lektion 9	Die Milchstraße Struktur und Entwicklung unserer Heimatgalaxie	71
<hr/>		
Lektion 10	Die Vielfalt der Galaxien Wie das Universum bevölkert wurde	79
Lektion 11	Kosmische Phänomene Schwarze Löcher, Weiße Zwerge und Neutronensterne	84
Lektion 12	Dunkle Materie und Dunkle Energie Woraus besteht unser Universum?	89

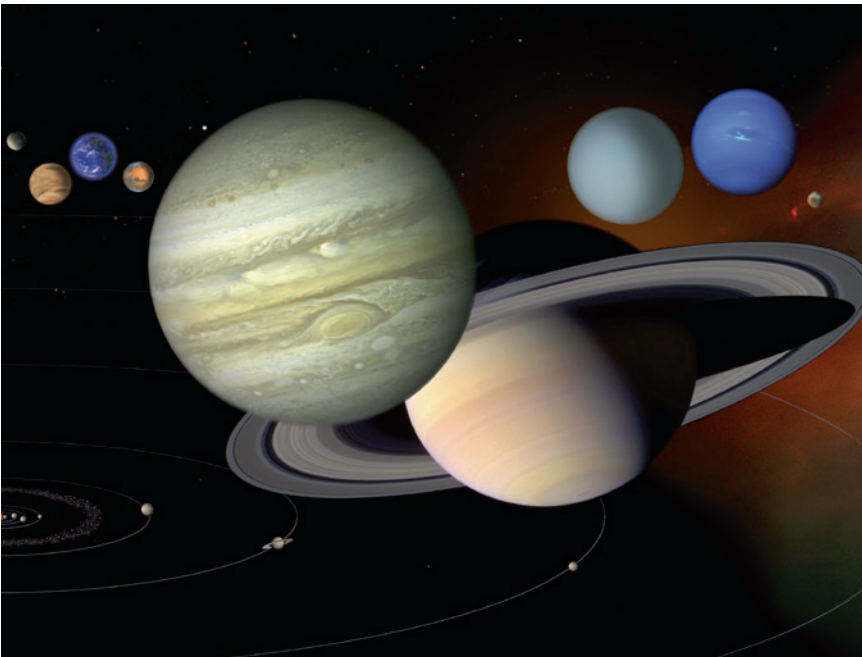
4

Anhang

Lebensläufe	94
Bildnachweise	96

Das Sonnensystem

Unsere kosmische Heimat



Die Beobachtungen der Planetenbahnen am Himmel läutete das heliozentrische System ein, bei dem die Sonne im Zentrum des Weltbildes sitzt. Nikolaus Kopernikus stellte die mathematische Grundlage dafür bereit, und Johannes Kepler erklärte zwischen 1609 und 1619 den Lauf der Planeten am Himmel mit elliptischen Bahnen um die Sonne. Seine drei Keplerschen Gesetze sind die Grundlage, um die Planetenbewegungen zu beschreiben – damals wie heute.

► **Abb. 04** Die Planeten des Sonnensystems. Unten sieht man ihre unterschiedlichen Bahnen, während oben ihre Größen verglichen werden/*Quelle:* www.emilivanov.com/index2.htm; www.irida-observatory.org/

Literaturempfehlungen

- Brown, Mike: Wie ich Pluto zur Strecke brachte: und warum er es nicht anders verdient hat, Berlin/Heidelberg 2012
- Podbregar, Nadja: Im Fokus: Sonnensystem. Eine Reise durch unsere kosmische Heimat, Berlin/Heidelberg 2014

Lektion 2

Isaac Newton erkannte von 1680 an, dass die Keplerschen Gesetze der Planetenbewegung eine Folge seines Gravitationsgesetzes sind. Die Kraft, die einen Planeten auf seiner Bahn hält, ist genau die gleiche Kraft, die für die Anziehungskraft auf der Erde verantwortlich ist und uns nicht von der Oberfläche wegfliegen lässt.

Planeten können am Himmel beobachtet werden, die meisten sogar mit bloßem Auge. Aber sie leuchten nicht selbst, denn sie haben keine wirkliche Energiequelle. Sie sind die »Motten« des Sonnensystems: Sie fliegen um unseren leuchtenden Heimatstern und reflektieren dabei lediglich das Sonnenlicht. Nur deswegen sind sie für uns sichtbar.

Abb. 05 Merkur ist nach der Erde der zweitdichteste Planet im Sonnensystem. Ein Merkur-Tag dauert 176 Tage oder zwei Merkur-Jahre, da der Planet nur sehr langsam rotiert
Quelle: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington

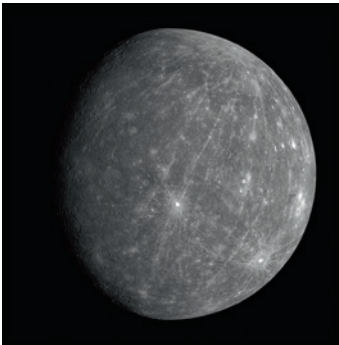


Abb. 07 Die Erde hat die größte Dichte aller Planeten. Ihr spektakulärstes Merkmal ist die Existenz von Leben/*Quelle: NASA*



Abb. 06 Venus rotiert in die entgegengesetzte Richtung als die meisten anderen Planeten. Der atmosphärische Druck an der Oberfläche entspricht dem unterhalb des Meeresbodens auf der Erde. Asteroiden werden beim Eintritt in die Atmosphäre effizient zerquetscht – deswegen hat Venus keine signifikanten Einschlagskrater/*Quelle: NASA/Ricardo Nunes*

Alle Planeten des Sonnensystems sind seit den siebziger Jahren von vielen Raumsonden besucht und fotografiert worden. Es sind sogar unbemannte Fahrzeuge auf den Mond, den Mars und sogar einen Kometen hinuntergelassen worden, um dort Proben zu sammeln und die Oberfläche zu analysieren. Alle Missionen lieferten nicht nur detaillierte Bilder, sondern auch eine Vielfalt von wertvollen Daten, mit denen die Entstehungsgeschichten und Eigenschaften dieser Objekte rekonstruiert werden und ihre Besonderheiten besser verstanden werden konnten.

Im Sonnensystem unterscheidet man zwei Arten von Planeten: erdähnliche Planeten, auch Gesteinsplaneten genannt, sowie Gas- bzw. Eisriesen. Merkur, Venus, Erde und Mars sind Gesteinsplaneten. Sie umkreisen die Sonne auf engen

Abb. 09 Jupiter hat den kürzesten Tag im Sonnensystem (etwa 10 Stunden). Der Gasriese besitzt einen Kern aus Gestein und Metallen. Sein dünnes Ringsystem besteht aus Staubteilchen und ist 2000 bis 12 500 Kilometer breit
Quelle: NASA/JPL/University of Arizona

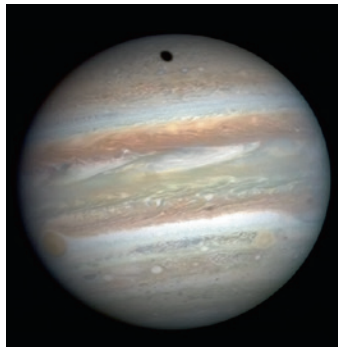
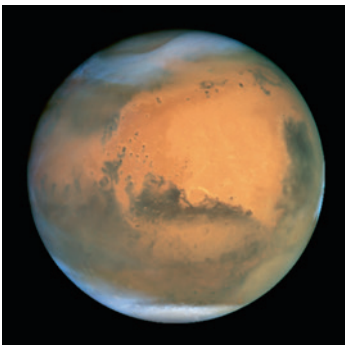


Abb. 08 Die Anziehungskraft auf dem Mars beträgt nur ein Drittel der Anziehungskraft der Erde. Deswegen könnte man dort knapp dreimal so hoch springen wie bei uns. Riesige Sandstürme fegen über den ganzen Planeten hinweg/*Quelle: Jim Bell (Cornell) et al., Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA)*

Abb. 10 Saturn ist aufgrund seiner schnellen Rotation abgeflacht und nicht besonders rund. Er wird von mindestens 150 Monden und kleinen Monden umkreist. Das prächtige Ringsystem, bestehend aus Milliarden von kleinen Staubkörnern bis zu kilometergroßen Eisbrocken, ist mindestens 120 000 Kilometer breit, aber nur 20 Meter dick/*Quelle: NASA*

Abb. 11 Uranus rotiert auch in die entgegengesetzte Richtung. Während eines Sonnenumlaufs ist einer der Pole für 42 Jahre dem Sonnenlicht ausgesetzt. Er hat 13 Ringe, die wahrscheinlich entstanden sind, als ein Mond zerschmettert wurde
Quelle: NASA/Space Telescope Science Institute

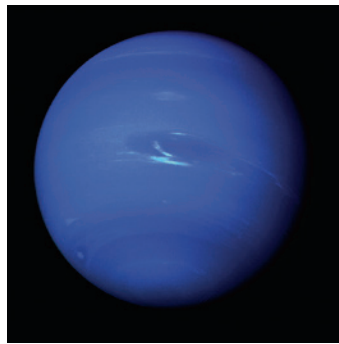
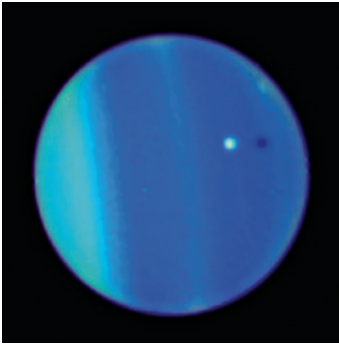


Abb. 12 Neptun wurde wahrscheinlich sehr viel näher an der Sonne gebildet und wanderte später zu seiner Außenposition im Sonnensystem. Dieser Eisriese rotiert zudem sehr schnell, ein Tag ist nur etwa 16 Stunden lang/*Quelle: NASA*

Abb. 13 Pluto, aufgenommen von New Horizons im Juli 2015
Quelle: NASA/JHUAPL/SwRI



Bahnen, sind ihr also relativ nahe. Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun sind Gasriesen und umkreisen die Sonne weit draußen auf großen Bahnen. Der Steckbrief rechts zeigt alle wichtigen Fakten zu den Planeten.

Pluto war bis 2006 der neunte, am weitesten entfernte Planet des Sonnensystems. Kurz bevor er als Zwergplanet neu eingeordnet wurde, war die NASA-Raumsonde New Horizons zum Pluto gestartet. Denn bis dahin gab es keinerlei scharfe Bilder und Detailwissen über diesen kosmischen Zwerg. Im Juli 2015 flog New Horizons dann in einem Abstand von etwa 12 000 Kilometern an Pluto vorbei und nahm spektakuläre Bilder auf. Analysen der detaillierten Daten ergaben, dass es auf Pluto bis zu 3500 Meter hohe Berge gibt, die wahrscheinlich auf untergründigem Eis stehen. Weiterhin wurde eine große herzförmige Region mit einer unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung identifiziert. Teile der Region weisen keinerlei Krater und Einschlaglöcher auf, was darauf hinweist,

dass sie geologisch gesehen sehr jung sein muss, nur etwa 100 Millionen Jahre alt. Generell besteht Pluto aus einer Mischung von 70 Prozent Gestein im Zentrum und etwa 30 Prozent Eis, vornehmlich Wassereis, aber auch Methan- und Stickstoffeis. Er ist ca. 5,9 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt, rotiert in die entgegengesetzte Richtung der Erdrotation und hat fünf Monde. Es wird angenommen, dass Pluto in seiner Jugendzeit von einem anderen, etwa gleich schweren Objekt getroffen wurde. Aus den Trümmern bildete sich der jetzige Pluto, der Rest wurde zu Charon, seinem größten Mond.

Neben den Planeten gibt es noch andere Arten von kleineren Körpern, die das Sonnensystem bevölkern. Monde sind Gesteinskörper, die einen Planeten umkreisen. Es gibt mindestens 170 von ihnen im Sonnensystem. Asteroiden bestehen aus Gestein und Metallen, während Kometen als »schmutzige Schneebälle« aus Eis, Staub und Steinbrocken bestehen. Meteore sind kleine Gesteinsbrocken mit einer Größe von Zentimetern bis etwa einem Meter. Man nennt einen solchen Brocken Meteoroid, solange er durch den Raum fliegt, Meteor oder Sternschnuppe, wenn er in der Atmosphäre verglüht, und Meteorit, wenn ein Stück davon auf der Erde landet.

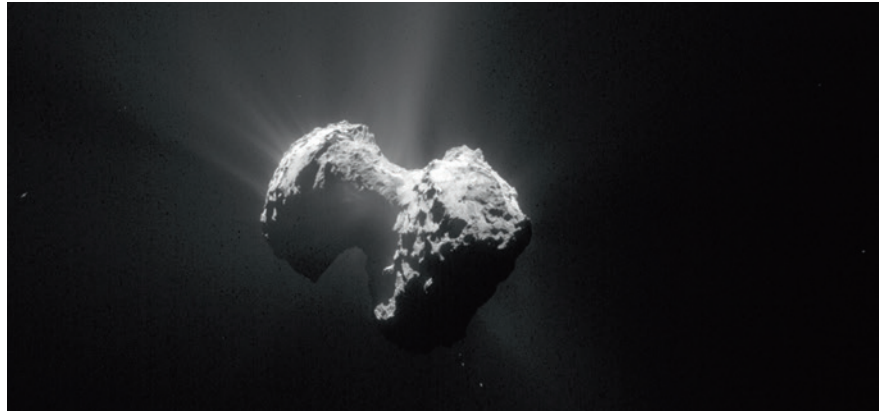
Steckbrief der Planeten:

Planet	Masse	Durchmesser	Distanz zur Sonne	Umlaufzeit	Temperatur	Anzahl Monde
Merkur	$3,302 \times 10^{23}$ kg (0,06 Erdmassen)	4.876 km	57.909.050 km (0,39 AU)	88 Tage	-73° C bis +427° C	-
Venus	$4,868 \times 10^{24}$ kg (0,82 Erdmassen)	12.102 km	108.208.000 km (0,72 AU)	225 Tage	+462° C	-
Erde	$5,972 \times 10^{24}$ kg	12.742 km	149.598.261 km (1 AU)	365 Tage	-89° C bis +57° C	1
Mars	$6,418 \times 10^{23}$ kg (0,11 Erdmassen)	6.779 km	227.939.100 km (1,52 AU)	687 Tage	-143° C bis +35° C	2
Jupiter	$1,899 \times 10^{27}$ kg (318 Erdmassen)	139.822 km	778.547.200 km (5,21 AU)	11,9 Jahre	-108° C	67
Saturn	$5,685 \times 10^{26}$ kg (95 Erdmassen)	116.464 km	1.433.449.370 km (9,58 AU)	29,5 Jahre	-139° C	62
Uranus	$8,683 \times 10^{25}$ kg (14 Erdmassen)	50.724 km	2.870.671.400 km (19,19 AU)	84 Jahre	-197° C	27
Neptun	$1,024 \times 10^{26}$ kg (15 Erdmassen)	49.244 km	4.498.542.600 km (30,07 AU)	165 Jahre	-201° C	14

Eine Erdmasse = Masse der Erde

Lektion 2

Abb. 14 Der Komet Tschurjumow-Gerasimenko, fotografiert von der Rosetta-Sonde im Juli 2015/*Quelle: ESA/Rosetta/NAVCAM - CC BY-SA IGO 3.0*



Die Rosetta-Sonde der Europäischen Weltraumagentur war von 2002 bis 2014 auf einer zwölfjährigen Reise zum Kometen Tschurjumow-Gerasimenko unterwegs, der auch 67P oder auch »Tschuri« genannt wird und in der obenstehenden Abbildung zu sehen ist. Ziel ist es, seine chemische Zusammensetzung, seine Oberfläche und sein Magnetfeld zu erforschen. Beim Rendezvous im November 2014 wurde dann der unbemannte Lander Philae in einem ausgeklügelten Verfahren von der Sonde aus auf den Kometen hinabgelassen. So wurde in atemberaubender Weise bewiesen, dass nicht nur Hollywood auf einem Kometen landen kann.

Auf den Punkt

Die Gravitationskraft zwischen der Sonne und einem Planeten hält ihn auf seiner Bahn um die Sonne. Es ist die gleiche Kraft, die auf der Erde dafür sorgt, dass ein hochgeworfener Ball wieder herunterfällt.

Planeten leuchten nicht selbst, sie reflektieren nur das Sonnenlicht. Detaillierte Bilder aller Planeten sind von vorbeifliegenden Raumsonden geliefert worden.

Es gibt erdähnliche Planeten, die sich im inneren Sonnensystem befinden, und Gasriesen, die weit draußen ihre Bahn um die Sonne ziehen. Die meisten Planeten haben Monde, einige von ihnen sogar mehrere Dutzend.

Pluto wurde 2006 vom Planeten zum Zwergplaneten deklassiert. Die Raumsonde New Horizons lieferte 2015 zum ersten Mal detaillierte Aufnahmen seiner Oberfläche.



ZEIT AKADEMIE

Astronomie

Eine Reise durch
unser Universum

Die Astronomie ist eine der ältesten Wissenschaften – schon immer haben wir uns an Sternen und Himmelskörpern orientiert und eine besondere Faszination bei ihrem Anblick verspürt. Gleichzeitig ist die Astronomie eine Wissenschaft, die an die Grenzen geht – auch an die Grenzen unserer Vorstellungskraft, denn wer kann sich schon eine Distanz von 25 000 Lichtjahren oder 200 Milliarden Kilometern vorstellen, die Entfernung unseres Sonnensystems vom Zentrum der Milchstraße? Im ZEIT Akademie-Seminar Astronomie führt uns die Astronomin und Astrophysikerin Prof. Dr. Anna Frebel in die Geheimnisse unseres Universums ein. Sterne, Planeten, Galaxien, aber auch Schwarze Löcher und Dunkle Materie werden in diesem 12-teiligen Videoseminar behandelt. Wie arbeiten Astronomen? Sind wir allein im Universum? Und was wissen wir über den Urknall? Diese und viele weitere spannende Fragen beantwortet Anna Frebel anschaulich und mit eindrucksvollem Bild- und Videomaterial.



Ihre Dozentin: Prof. Dr. Anna Frebel gehört zu den führenden Astronomen der Gegenwart. Sie lehrt und forscht am MIT in Cambridge, USA.



Anschaulich: Eine Vielzahl an weiterführenden Bild- und Videoaufnahmen ermöglicht einen eindrucksvollen Blick in unser Universum.



Im Gespräch: Im Anschluss an jede Lektion interviewt ZEIT-Redakteur Christoph Drösser die Dozentin.

Inhalt Klassikseminar

12 Lektionen: Online • DVD • Buch

1

Lektion 1: Faszination Astronomie

Lektion 2: Das Sonnensystem: Unsere kosmische Heimat

Lektion 3: Licht und Spektroskopie

2

Lektion 4: Die Suche nach der zweiten Erde

Lektion 5: Der Anfang des Universums

Lektion 6: Sterne: Der kosmische Ursprung des Menschen

3

Lektion 7: Teleskope

Lektion 8: Kosmische Senioren

Lektion 9: Die Milchstraße

4

Lektion 10: Galaxien

Lektion 11: Schwarze Löcher und exotische Objekte

Lektion 12: Dunkle Materie und Dunkle Energie

Impressum

Autor: Prof. Dr. Anna Frebel

Wissenschaftliche Leitung: Matthias Naß

Redaktion: Christoph Drösser

Herstellung: Torsten Bastian (verantwortlich), Dirk Woschei

Infografiken: Christian Wittmer Medienproduktion, DFP DOCK11 GmbH

Fotografie: Felix Amsel

Umsetzung: Simone Detlefsen

Bildbearbeitung: Hanno Hammacher

Korrektorat: Mechthild Warmbier (verantwortlich)

Satz und Reproduktion: Zeitverlag Gerd Bucerius GmbH & Co. KG

Druck und Bindung: Phoenix Print GmbH, Würzburg

DVD-Produktion: optimal media GmbH, Röbel

© ZEIT Akademie GmbH, Hamburg

www.zeitakademie.de