minærva

AS 3

SKRIPT

Das Sonnensystem

Erklärskript

Die Aufgaben 61–95 zu diesem Skript stehen im Aufgabenskript, die Lösungen im Lösungsskript. Verweise auf Aufgaben sind Links.

Astronomie – Klasse 7 bis Kursstufe

Pirmin Gohn

Nutzungshinweis: Dieses Skript darf nur im Rahmen des Unterrichts verwendet werden; insbesondere ist die eigenständige Weitergabe untersagt.

Skriptreihe AS · Astronomie (Klasse 7 bis Kursstufe)

AS1 Himmel	**AS2** Erde und Mond	**AS3** Sonnensystem	**AS4** Sonne	**AS5** Himmelsmechanik
AS6 Licht aus dem All	**AS7** Planeten und Leben	**AS8** Sterne	**AS9** Sternentwicklung	**AS10** Kosmos

Lernen mit minærva

Dieses Skript ist ein Teil von minærva. Alles gehört zusammen: Jedes Thema führt von der Erklärung zum Üben, zum Ausprobieren und ins große Bild.

minaerva.de

Skripte Verstehen
Der Stoff zum Nachlesen: Erklärungen, Herleitungen, Beispiele und typische Fehler.
minaerva.de

noctua Üben
Fragen zu jedem Abschnitt, mit sofortiger Rückmeldung.
noctua.minaerva.de

fabrica Ausprobieren
Versuche und Anschauungen zum Selbermessen und Anfassen, ohne Konto, auch auf dem iPad.
fabrica.minaerva.de

tela Vernetzen
Das Wissensnetz: worauf ein Thema aufbaut und wohin es führt.
tela.minaerva.de

So greifen die Skripte ineinander

Erklärskripte	Astronomie: zehn Themenskripte AS1–AS10 von Klasse 7 bis zur Kursstufe mit dem Stoff, aber ohne Aufgaben. Unter jeder Abschnittsüberschrift steht, aus welchem Bildungsplan der Stoff stammt (Physik, IMP, Basisfach Astrophysik, Wahlfach Astronomie) oder ob er Zusatz ist.
Aufgabenskript	Ein gemeinsames Aufgabenskript für alle Themen. Die Erklärskripte verweisen darauf; jede Aufgaben-, Abbildungs- und Tabellennummer gibt es in der Reihe nur einmal.
Lösungsskript	Die Lösungen zu allen Aufgaben, mit denselben Nummern.

Am Ende vieler Abschnitte stehen Links zur passenden Übung, zum Versuch und ins Wissensnetz. In der PDF-Datei lassen sie sich direkt antippen.

Inhaltsverzeichnis

Worum es geht **4**
1 Aufbau und Größenordnungen **5**
1.1 Was gehört zum Sonnensystem? 5
1.2 Die Astronomische Einheit 5
1.3 Wie groß sind Sonne und Planeten? 6
1.4 Ein Modell im Maßstab: der Planetenweg 7
2 Weltbilder: von Ptolemäus bis Galilei **9**
2.1 Was man am Himmel sieht 9
2.2 Das geozentrische Weltbild 9
2.3 Kopernikus: Die Sonne in die Mitte 10
2.4 Tycho Brahe: genaue Messungen 11
2.5 Kepler: Ellipsen statt Kreise 11
2.6 Galilei: Beweise mit dem Fernrohr 12
3 Die Gesteinsplaneten und die Erde **14**
3.1 Zwei Familien von Planeten 14
3.2 Die Dichte verrät das Innere 14
3.3 Merkur, Venus und Mars 15
3.4 Die Erde, ein besonderer Planet 16
4 Die Gasplaneten, Ringe und Monde **18**
4.1 Riesen aus Gas 18
4.2 Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun 18
4.3 Ringe 18
4.4 Monde 19
4.5 Magnetfelder 19
5 Kleine Körper: Zwergplaneten, Asteroiden, Kometen, Meteore **20**
5.1 Zwergplaneten 20
5.2 Asteroiden 20
5.3 Kometen 21
5.4 Meteore und Meteoriten 21
5.5 Kuipergürtel und Oortsche Wolke 22
5.6 Gefahr aus dem All und ihre Abwehr 22
6 Raumfahrt und das Sonnensystem in der Milchstraße **24**
6.1 Warum Raumsonden? 24
6.2 Meilensteine der Erforschung 24
6.3 Das Sonnensystem in der Milchstraße 25
6.4 Andere Planetensysteme 26

Worum es geht

Schau an einem klaren Abend kurz nach Sonnenuntergang nach Westen. Oft steht dort ein besonders heller „Stern“, der nicht flackert: der **Abendstern**. In Wirklichkeit ist es kein Stern, sondern der Planet Venus. Etwas höher sieht man vielleicht Jupiter, daneben die schmale Sichel des Mondes. Alle drei stehen ungefähr auf einer Linie am Himmel. Das ist kein Zufall: Sie gehören zu unserer Heimat im Weltall, dem Sonnensystem, und ihre Bahnen liegen fast in einer Ebene.

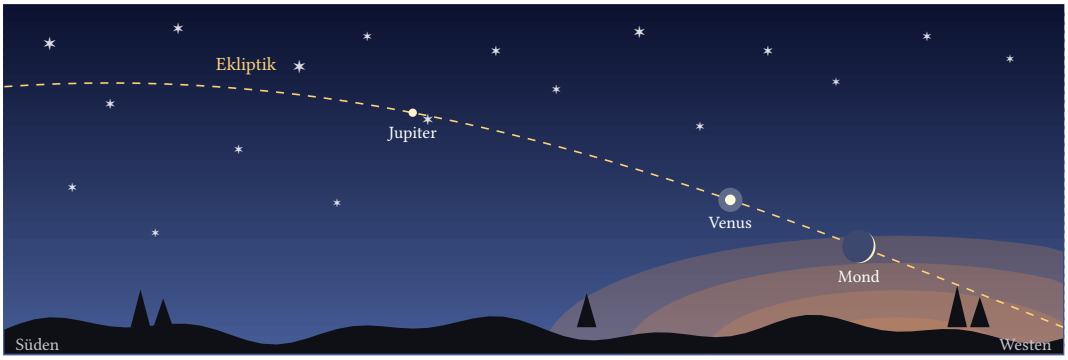


Abbildung 34: Abendhimmel im Westen kurz nach Sonnenuntergang (schematisch). Mond und Planeten stehen nahe der Ekliptik, der Bahn der Sonne am Himmel.

Dieses Skript ist eine Reise durch das Sonnensystem. Kapitel 1 zeigt, wie groß es ist und wie leer, und baut es im Maßstab nach. Kapitel 2 erzählt, wie die Menschen herausfanden, dass die Erde sich um die Sonne dreht und nicht umgekehrt. Die Kapitel 3 und 4 besuchen die Planeten: zuerst die kleinen aus Gestein, dann die großen aus Gas mit ihren Ringen und Monden. Kapitel 5 stellt die kleinen Körper vor: Zwergplaneten, Asteroiden, Kometen und Sternschnuppen, und fragt, ob uns ein Brocken aus dem All gefährlich werden kann. Kapitel 6 zeigt, was Raumsonden herausgefunden haben, und wo unser Sonnensystem in der Milchstraße liegt.

Das Sonnensystem im Lehrplan. Stufe: ab Klasse 8. Welcher Plan welchen Abschnitt verlangt, sagen die Marken unter den Überschriften. Das Skript deckt den Teil „Sonnensystem“ von IMP 8 ab und den größten Teil von 3.1.2 des Wahlfachs Astronomie. Die Keplerschen Gesetze kommen hier nur in Worten vor; gerechnet wird mit ihnen im Skript AS5.

Quellen-Marken. Unter jeder Abschnittsüberschrift steht, aus welchem Bildungsplan Baden-Württembergs der Stoff stammt: Physik 7/8 | IMP 8 | IMP 9 | IMP 10 für die Mittelstufe (Physik und Profilfach IMP), Basisfach Astrophysik | Wahlfach Astronomie für die Kursstufe (Physik-Basisfach mit Schwerpunkt Astrophysik, Wahlfach Astronomie). Zusatz heißt: Der Abschnitt steht in keinem dieser Pläne, gehört aber in anderen Ländern zum Pflichtstoff Astronomie (Sachsen-Anhalt, Mecklenburg-Vorpommern, Thüringen) und ist hier Bonus.

Die Aufgaben zu diesem Skript stehen im Aufgabenskript der Reihe, die Lösungen im Lösungsskript. Jedes Kapitel endet mit Verweisen auf passende Übungen in **noctua** und Stationen in **fabrica**. Fachbegriffe sind beim ersten Auftreten **fett** gesetzt und am Ende jedes Kapitels in einem Kasten zusammengefasst.

1 Aufbau und Größenordnungen

1.1 Was gehört zum Sonnensystem?

IMP 8 Wahlfach Astronomie

In der Mitte steht die **Sonne**, ein Stern wie die vielen Sterne am Nachthimmel, nur viel näher. Sie ist riesig: In ihr hätte die Erde mehr als eine Million Mal Platz. Die Sonne enthält 99,86 % der gesamten Masse des Sonnensystems. Mit ihrer Anziehungskraft (Gravitation) hält sie alles andere fest.

Um die Sonne laufen acht **Planeten**. Das Wort kommt aus dem Griechischen und heißt „Wanderer“, weil die Planeten am Himmel langsam zwischen den Sternen hindurchwandern. Von innen nach außen heißen sie: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun. Ein Merkspruch hilft: „**M**ein **V**ater **e**rklärt **m**ir **j**eden **S**onntag **u**nseren **N**achthimmel.“

Definition

Zum **Sonnensystem** gehören die Sonne und alles, was von ihrer Anziehung festgehalten wird und sie umkreist:

- die acht **Planeten**, große, fast kugelrunde Körper, die selbst nicht leuchten, sondern das Sonnenlicht zurückwerfen;
- ihre **Monde**, die einen Planeten umkreisen;
- **Zwergplaneten** wie Pluto, die kleiner sind als Planeten;
- viele Millionen kleine Körper: **Asteroiden** aus Gestein und Metall und **Kometen** aus Eis und Staub;
- feiner Staub und Gas zwischen den Planeten.

Die Planeten bilden zwei Familien. Die vier inneren, **Gesteinsplaneten** genannt (Merkur, Venus, Erde, Mars), sind klein und bestehen aus Gestein und Metall. Die vier äußeren, die **Gasplaneten** (Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun), sind groß und bestehen vor allem aus Gas. Zwischen den beiden Familien, zwischen Mars und Jupiter, kreisen die meisten Asteroiden im **Asteroidengürtel**. Hinter Neptun beginnt eine zweite Zone voller eisiger Kleinkörper, der **Kuipergürtel** (Kapitel 5).

Alle Planeten laufen im selben Drehsinn um die Sonne, und ihre Bahnen liegen fast in einer Ebene. Die Ebene der Erdbahn heißt **Ekliptik**. Von der Erde aus gesehen läuft die Sonne im Lauf eines Jahres einmal entlang der Ekliptik um den Himmel (Skript AS2); weil die anderen Planetenbahnen kaum dagegen geneigt sind, findet man auch die Planeten und den Mond immer in der Nähe dieser Linie (Abbildung 34). Die Zeit, die die Erde für einen Umlauf um die Sonne braucht, ist das **Erdjahr**, rund 365,25 Tage.

Typischer Fehler

Falsch: Planeten sind auch Sterne, nur kleinere.

Richtig: Sterne leuchten selbst, weil in ihrem Inneren Kernfusion abläuft. Planeten leuchten nicht selbst; wir sehen sie nur, weil sie das Licht der Sonne zurückwerfen.

Am Himmel sehen helle Planeten wie Sterne aus. Ein Unterschied: Planeten funkeln kaum, weil sie keine Punkte sind, sondern winzige Scheibchen.

1.2 Die Astronomische Einheit

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Im Sonnensystem sind die Entfernungen so groß, dass Kilometer unhandlich werden. Man misst sie deshalb mit dem Abstand Erde–Sonne als Maßstab.

Definition

Die **Astronomische Einheit** (AE) ist der mittlere Abstand der Erde von der Sonne:

$$1\ \mathrm{AE} = 149\,597\,870{,}7\ \mathrm{km} \approx 150\ \text{Millionen}\ \mathrm{km} = 1{,}5 \cdot 10^{8}\ \mathrm{km}\ .$$

Planet	Abstand in Mio. km	Abstand in AE	Umlaufzeit	Licht braucht
Merkur	57,9	0,39	88 Tage	3,2 min
Venus	108	0,72	225 Tage	6,0 min
Erde	150	1,00	365 Tage	8,3 min
Mars	228	1,52	687 Tage	12,7 min
Jupiter	779	5,20	11,9 Jahre	43 min
Saturn	1432	9,57	29,4 Jahre	1 h 20 min
Uranus	2867	19,2	84 Jahre	2 h 39 min
Neptun	4515	30,2	164 Jahre	4 h 11 min

Tabelle 9: Mittlere Abstände der Planeten von der Sonne und Umlaufzeiten (NASA, gerundet). Rechts: die Zeit, die das Sonnenlicht bis zum Planeten braucht.

Die Tabelle zeigt zweierlei. Erstens liegen die inneren Planeten dicht beieinander, die äußeren weit auseinander: Von Saturn bis Uranus ist es etwa so weit wie von der Sonne bis Saturn; Uranus ist also doppelt so weit von der Sonne entfernt wie Saturn. Zweitens brauchen die äußeren Planeten sehr lange für einen Umlauf. Neptun wurde 1846 entdeckt und hat seitdem erst einen einzigen Umlauf geschafft (2011).

Licht ist das Schnellste, was es gibt: Es legt rund 300 000 Kilometer in jeder Sekunde zurück. Trotzdem braucht es von der Sonne bis zur Erde gut acht Minuten. Die Zeit, die ein Licht- oder Funksignal unterwegs ist, heißt **Signallaufzeit**. Wenn wir die Sonne sehen, sehen wir sie so, wie sie vor acht Minuten war.

Beispiel 1

Wie lange braucht das Sonnenlicht bis zum Jupiter?

$$t = \frac{s}{c} = \frac{778\,500\,000\ \text{km}}{300\,000\,\frac{\text{km}}{\text{s}}} \approx 2600\ \text{s} \approx 43\ \text{min}\ .$$

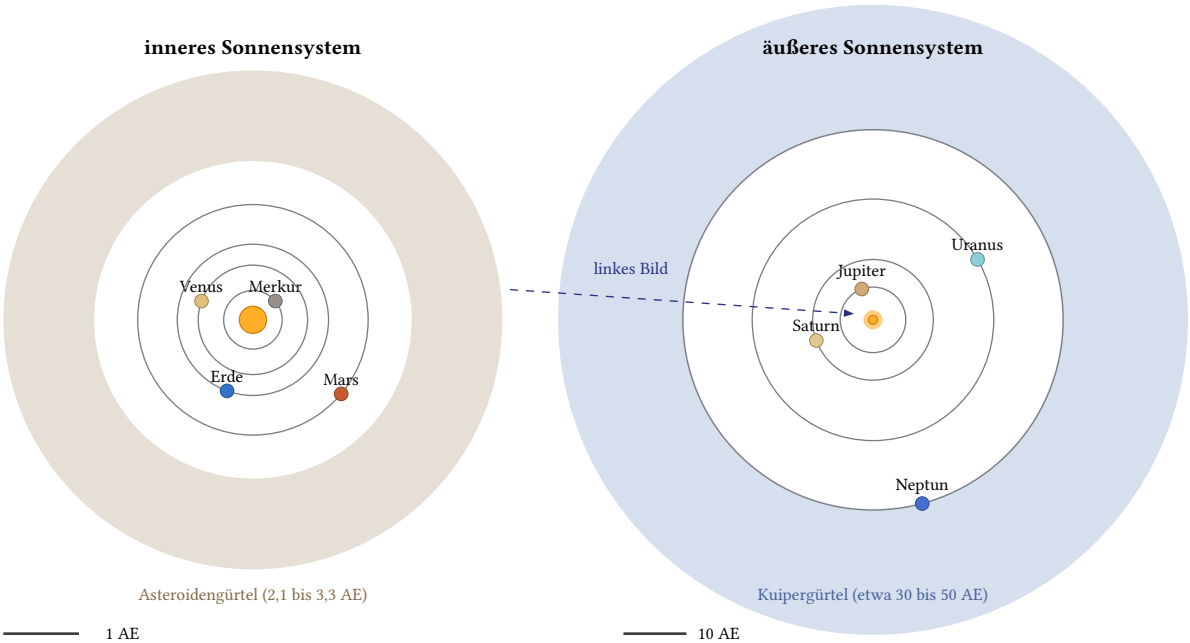


Abbildung 35: Die Bahnen der Planeten von oben, links das innere Sonnensystem (Maßstab 1 cm für 1 AE), rechts das äußere (1 cm für 12 AE). Das ganze linke Bild schrumpft rechts auf den kleinen Fleck um die Sonne. Die Bahnen sind fast Kreise; wo die Planeten auf ihnen stehen, ist beliebig gewählt.

1.3 Wie groß sind Sonne und Planeten?

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Die Erde hat einen Radius von rund 6400 km. Jupiter, der größte Planet, ist elfmal so breit wie die Erde, die Sonne 109-mal. Abbildung 36 zeigt die Sonne und die Planeten im selben Maßstab.

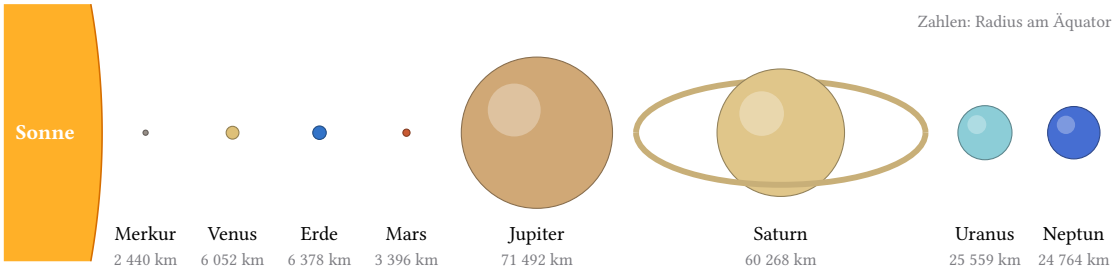


Abbildung 36: Sonne (nur ihr Rand) und Planeten im selben Maßstab: Jupiter ist hier 2 cm breit, die ganze Sonne wäre ein Kreis von 19 cm Durchmesser. Radien nach NASA, die Saturnringe bis zum Außenrand des hellen A-Rings.

Merksatz

Größenordnungen im Sonnensystem

- Die Gasplaneten sind viel größer als die Gesteinsplaneten. Die Erde ist der größte Gesteinsplanet.
- Die Sonne ist rund zehnmal so breit wie Jupiter und rund hundertmal so breit wie die Erde.
- Die Abstände sind riesig im Vergleich zu den Größen: Zwischen Sonne und Erde hätten 107 Sonnen nebeneinander Platz.

1.4 Ein Modell im Maßstab: der Planetenweg

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Zeichnet man das Sonnensystem auf eine Buchseite, muss man schummeln: Entweder sind die Planeten sichtbar, dann stimmen die Abstände nicht, oder die Abstände stimmen, dann sind die Planeten unsichtbar klein. In vielen Städten gibt es deshalb **Planetenwege**: maßstäbliche Modelle, die man ablaufen kann. Ein beliebter Maßstab ist **1 : 1 Milliarde**. Dann wird aus einer Milliarde Kilometern ein Kilometer, aus 1000 Kilometern ein Millimeter.

Beispiel 2

Die Erde hat einen Durchmesser von 12 756 km. Im Maßstab 1 : 1 Milliarde: $12\,756\ \text{km} : 1\,000\,000\,000 = 0{,}000\,012\,756\ \text{km} \approx 12{,}8\ \text{mm}$ – eine Murmel. Ihr Abstand von der Sonne, 150 Millionen km, wird zu 150 m.

Körper	Durchmesser	im Modell	Abstand zur Sonne im Modell	so groß wie
Sonne	1 391 400 km	1,39 m	–	ein Ball, so hoch wie ein Grundschulkind
Merkur	4879 km	4,9 mm	58 m	ein Pfefferkorn
Venus	12 104 km	12,1 mm	108 m	eine Murmel
Erde	12 756 km	12,8 mm	150 m	eine Murmel
Mars	6792 km	6,8 mm	228 m	eine Erbse
Jupiter	142 984 km	14,3 cm	779 m	eine kleine Melone
Saturn	120 536 km	12,1 cm	1,43 km	eine Pampelmuse
Uranus	51 118 km	5,1 cm	2,87 km	eine Mandarine
Neptun	49 528 km	5,0 cm	4,52 km	eine Mandarine

Tabelle 10: Das Sonnensystem im Maßstab 1 : 1 Milliarde (Durchmesser und Abstände nach NASA, gerundet).

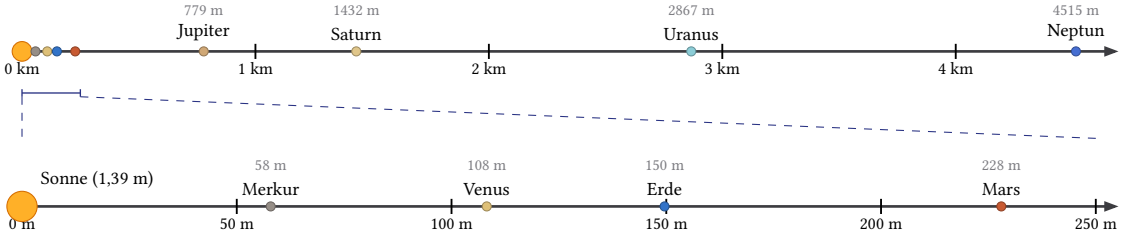


Abbildung 37: Der Planetenweg im Maßstab 1 : 1 Milliarde. Oben die ganze Strecke bis Neptun, unten die ersten 250 m vergrößert. Die Planeten sind viel zu groß gezeichnet; maßstäblich wären sie unsichtbar.

Im Modell zeigt sich, wie leer das Sonnensystem ist. Von der Sonne zur Erde läuft man zwei Minuten, an einer Murmel vorbei, die man leicht übersehen würde. Bis Neptun ist man eine Stunde unterwegs. Und der Mond? Er ist ein Kügelchen von 3,5 mm, 38 cm von der Erdmurmel entfernt. Weiter als bis dorthin sind Menschen noch nie gereist.

Der nächste Stern, Proxima Centauri, ist $4{,}0 \cdot 10^{13}$ km entfernt. Im Modell wären das 40 000 km – einmal um die ganze Erde. Und auch das Licht wird im Modell langsam: Es kriecht mit 30 cm pro Sekunde dahin, langsamer als ein Spaziergänger, und braucht für die 150 m bis zur Erde gut acht Minuten – genau wie in Wirklichkeit.

Rechnen mit Maßstäben

Bei einem Maßstab $1 : n$ teilt man jede wirkliche Länge durch n. Bei 1 : 1 Milliarde gilt: Millionen Kilometer werden zu Metern, Milliarden Kilometer zu Kilometern, tausend Kilometer zu Millimetern.

⋆ Planeten am Abendhimmel finden

Suche mit einer Sternkarten-App oder einem astronomischen Jahrbuch heraus, welche Planeten gerade abends zu sehen sind. Venus steht, wenn sie sichtbar ist, kurz nach Sonnenuntergang tief im Westen oder vor Sonnenaufgang im Osten; Jupiter und Saturn findet man entlang der Ekliptik. Achte darauf, dass Planeten kaum funkeln. Mit einem Fernglas sieht man bei Jupiter schon die vier hellen Monde. **Sicherheit:** Richte das Fernglas erst auf den Himmel, wenn die Sonne ganz untergegangen ist, und nie in ihre Richtung.

Fachbegriffe: Sonne · Planet · Mond · Zwergplanet · Asteroid · Komet · Gesteinsplanet · Gasplanet · Asteroidengürtel · Ekliptik · Erdjahr · Astronomische Einheit · Signallaufzeit · Maßstab · Planetenweg

Üben: **noctua ↗** Ausprobieren: **Planetenweg im Maßstab ↗** · **Zehnerpotenzen-Reise ↗** · **Einheiten umrechnen: die Treppe ↗**



2 Weltbilder: von Ptolemäus bis Galilei

2.1 Was man am Himmel sieht

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Wer den Himmel ohne Fernrohr beobachtet, sieht: Sonne, Mond und Sterne gehen im Osten auf und im Westen unter. Die Sterne behalten dabei ihre Anordnung; sie scheinen wie an einer großen Kugel befestigt, die sich einmal am Tag um die Erde dreht. Die Erde selbst scheint stillzustehen – wir spüren keine Bewegung. Es liegt nahe zu glauben, dass die Erde in der Mitte der Welt ruht und sich alles um sie dreht.

Fünf helle Lichter halten sich aber nicht an die Ordnung der Sterne: Merkur, Venus, Mars, Jupiter und Saturn. Sie wandern von Nacht zu Nacht ein Stück weiter, meist ostwärts, also entgegen der täglichen Drehung des Himmels. Manchmal werden sie langsamer, bleiben stehen, laufen ein Stück zurück und dann wieder vorwärts. Diese **Planetenschleife** (rückläufige Bewegung) war jahrtausendelang ein Rätsel. Mars zeigt sie etwa alle zwei Jahre, wenn er die ganze Nacht am Himmel steht und besonders hell leuchtet.

Definition

Ein **Weltbild** ist eine Vorstellung davon, wie die Welt als Ganzes aufgebaut ist. In der Astronomie ist es ein **Modell**: Es soll die Beobachtungen erklären und vorhersagen, wo die Himmelskörper in Zukunft stehen.

- Im **geozentrischen** Weltbild ruht die Erde in der Mitte (griechisch *ge* = Erde).
- Im **heliozentrischen** Weltbild steht die Sonne in der Mitte (griechisch *helios* = Sonne).

2.2 Das geozentrische Weltbild

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Der griechische Gelehrte Aristoteles (4. Jahrhundert vor Christus) stellte sich die Welt als ineinandergeschachtelte Kugelschalen vor: innen die Erde, außen die Schalen von Mond, Sonne, Planeten und ganz außen die Kugel der Fixsterne. Für die ruhende Erde sprach, was jeder sieht: Ein Stein fällt senkrecht herunter, es weht kein ständiger Sturm, und die Sterne zeigen keine Verschiebung, obwohl sich die Erde, wenn sie um die Sonne liefe, ihnen einmal nähern und einmal von ihnen entfernen müsste.

Um 150 nach Christus fasste Claudius Ptolemäus in Alexandria das Wissen in einem Buch zusammen, das später *Almagest* hieß. Um die Planetenschleifen zu erklären, ließ er jeden Planeten auf einem kleinen Kreis laufen, dem **Epizykel**, dessen Mittelpunkt selbst auf einem großen Kreis um die Erde wandert, dem **Deferenten**. Läuft der Planet auf dem Epizykel gerade „rückwärts“, sieht man ihn von der Erde aus eine Schleife ziehen.

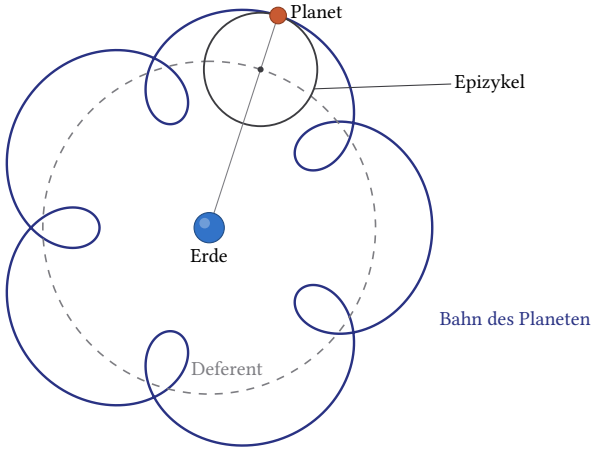


Abbildung 38: Epizykel (schematisch): Der Planet läuft auf dem kleinen Kreis, dessen Mittelpunkt auf dem großen Kreis um die Erde wandert. Seine Bahn (blau) hat Schleifen. Hier läuft der Planet sechsmal auf dem Epizykel herum, während dieser einmal um die Erde wandert.

Das Modell war erstaunlich gut: Mit ihm konnte man die Stellungen der Planeten für Jahre voraus berechnen. Es wurde rund 1400 Jahre lang benutzt und immer weiter verfeinert. Allerdings brauchte es dafür immer mehr Kreise, und es konnte nicht erklären, warum Merkur und Venus nie weit von der Sonne wegrücken.

2.3 Kopernikus: Die Sonne in die Mitte

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Die Idee, dass die Erde um die Sonne läuft, hatte schon Aristarch von Samos im 3. Jahrhundert vor Christus. Durchgesetzt hat er sich damit nicht. Erst Nikolaus Kopernikus (1473–1543), Domherr im heutigen Polen, arbeitete die Idee zu einem vollständigen Modell aus. Sein Buch *Über die Umläufe der Himmelskreise* erschien 1543, in seinem Todesjahr.

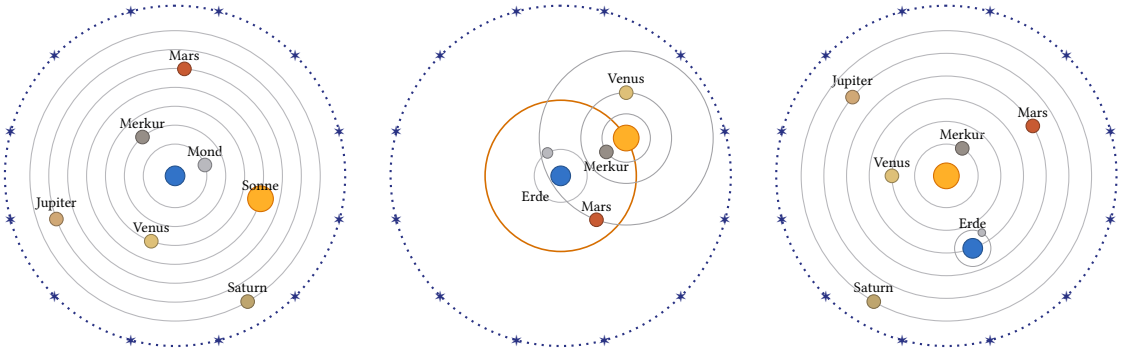


Abbildung 39: Drei Weltbilder (schematisch, Abstände nicht maßstäblich). Links: Die Erde ruht in der Mitte, alles kreist um sie (Ptolemäus; Epizykel weggelassen). Mitte: Sonne und Mond kreisen um die Erde, die Planeten um die Sonne (Tycho Brahe). Rechts: Alle Planeten, auch die Erde, kreisen um die Sonne (Kopernikus). Außen jeweils die Kugel der Fixsterne.

Bei Kopernikus wird vieles einfach:

- Die tägliche Drehung des Himmels ist eine Täuschung: In Wirklichkeit dreht sich die Erde einmal am Tag um ihre Achse.
- Merkur und Venus laufen innerhalb der Erdbahn um die Sonne. Deshalb sieht man sie immer in der Nähe der Sonne, als Morgen- oder Abendstern.
- Die Planetenschleifen sind **scheinbare** Bewegungen: Die Erde überholt auf ihrer inneren, schnelleren Bahn die äußeren Planeten. Wie ein Auto, das auf der Autobahn einen Lastwagen überholt: Vom Auto aus scheint der Lastwagen vor der fernen Landschaft rückwärts zu fahren, obwohl er vorwärts fährt.

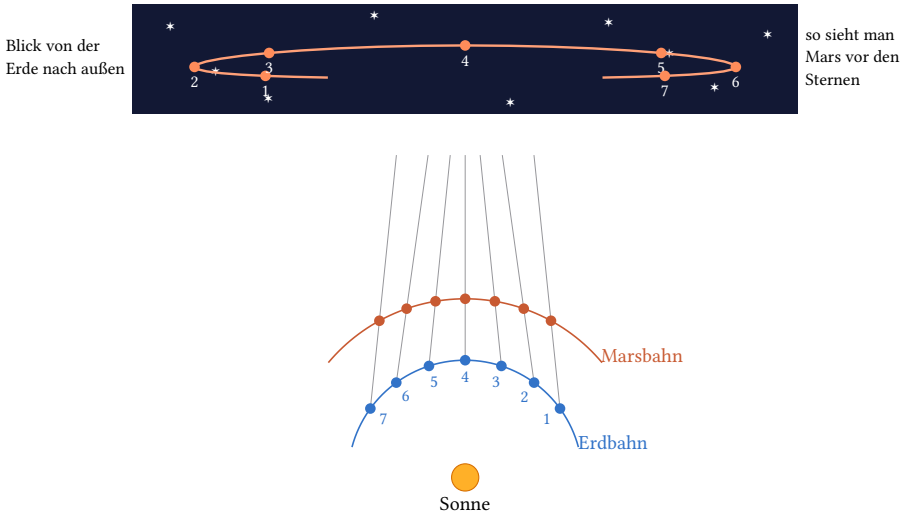


Abbildung 40: Entstehung der Planetenschleife des Mars (berechnet, Kreisbahnen). Unten die Bahnen von Erde und Mars zu sieben Zeitpunkten im Abstand von gut 18 Tagen; die Linien sind die Sichtlinien von der Erde zum Mars. Oben, wo Mars dabei vor den Sternen erscheint: Er wandert von 1 nach 2 vorwärts (nach links), läuft von 2 bis 6 zurück, während die Erde ihn überholt, und dann wieder vorwärts. Die Ausbuchtung nach oben ist schematisch (Neigung der Marsbahn).

Typischer Fehler

Falsch: Mars läuft bei der Planetenschleife wirklich ein Stück rückwärts.

Richtig: Mars läuft immer vorwärts um die Sonne. Die Schleife entsteht, weil wir sie von der bewegten Erde aus sehen, die Mars auf der Innenbahn überholt.

Die Unterscheidung zwischen **wahrer** und **scheinbarer** Bewegung ist eine der wichtigsten Ideen der Astronomie.

Allerdings hielt auch Kopernikus an Kreisbahnen fest und brauchte deshalb wieder kleine Zusatzkreise; genauer als Ptolemäus war sein Modell nicht. Und zwei Einwände blieben: Warum spürt man nichts von der rasenden Bewegung der Erde? Und warum zeigen die Sterne keine jährliche Verschiebung? Die Antwort auf die zweite Frage lautet: weil sie unvorstellbar weit weg sind. Messen konnte man diese Verschiebung, die **Parallaxe**, erst 1838 (Skript AS8).

2.4 Tycho Brahe: genaue Messungen

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Der dänische Adlige Tycho Brahe (1546–1601) baute auf der Insel Hven zwischen Dänemark und Schweden die beste Sternwarte seiner Zeit – ohne Fernrohr, das gab es noch nicht. Mit riesigen Winkelmessgeräten bestimmte er über zwanzig Jahre lang die Stellungen der Planeten, auf etwa ein bis zwei Bogenminuten genau (eine Bogenminute ist ein Sechzigstel Grad). So genau hatte vor ihm niemand gemessen.

Tycho beobachtete 1572 einen „neuen Stern“ (heute wissen wir: eine Sternexplosion, Skript AS9) und 1577 einen Kometen. Er zeigte, dass beide weit hinter dem Mond liegen. Damit war die alte Lehre widerlegt, dass sich am Himmel jenseits des Mondes nie etwas verändert. Das kopernikanische Weltbild übernahm er trotzdem nicht. Er schlug einen Kompromiss vor (Abbildung 39, Mitte): Die Erde ruht, Sonne und Mond kreisen um sie, und alle anderen Planeten kreisen um die Sonne. Mit den Beobachtungen der damaligen Zeit ließ sich dieses Modell vom kopernikanischen nicht unterscheiden.

2.5 Kepler: Ellipsen statt Kreise

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Johannes Kepler (1571–1630) aus Weil der Stadt in Württemberg wurde Tychos Assistent und erbte nach dessen Tod die Messdaten. Jahrelang versuchte er, die Marsbahn mit Kreisen zu beschreiben. Die beste Kreisbahn wich an einigen Stellen um acht Bogenminuten von Tychos Messungen ab. Kepler vertraute den Messungen mehr als der jahrtausendealten Idee, dass Himmelskörper sich auf Kreisen bewegen müssen – und fand die richtige Form: die Ellipse.

Eine **Ellipse** ist ein „plattgedrückter Kreis“. Man kann sie mit der **Gärtnerkonstruktion** zeichnen: Zwei Nägel (die **Brennpunkte**) werden eingeschlagen, eine Schnur, die länger ist als ihr Abstand, wird an beiden befestigt. Führt man einen Stift so herum, dass die Schnur immer gespannt bleibt, zeichnet er eine Ellipse. Je näher die Nägel beieinander liegen, desto kreisähnlicher wird sie.

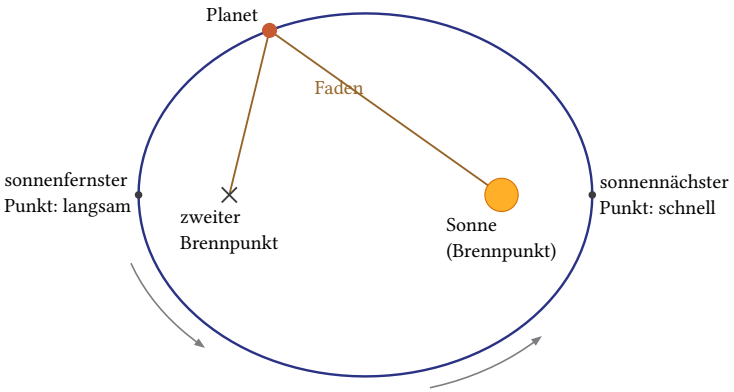


Abbildung 41: Planetenbahn als Ellipse mit der Sonne in einem Brennpunkt (stark übertrieben; die echten Planetenbahnen sind fast Kreise). Gärtnerkonstruktion: Die Summe der beiden Fadenstücke ist an jedem Punkt der Ellipse gleich.

Merksatz

Die Keplerschen Gesetze in Worten (ausführlich mit Formeln im Skript AS5)

- **Erstes Gesetz:** Die Planeten bewegen sich auf **Ellipsen**. Die Sonne steht in einem Brennpunkt.
- **Zweites Gesetz:** Ein Planet ist in Sonnennähe **schneller** als in Sonnenferne.
- **Drittes Gesetz:** Je weiter ein Planet von der Sonne entfernt ist, desto **länger** braucht er für einen Umlauf. Seine Umlaufzeit wächst dabei stärker als sein Abstand.

Ein Beispiel zum dritten Gesetz: Jupiter ist 5,2-mal so weit von der Sonne entfernt wie die Erde, braucht aber nicht 5,2 Jahre für einen Umlauf, sondern 11,9 Jahre. Er hat einen längeren Weg **und** läuft langsamer: Die Erde rast mit 30 Kilometern pro Sekunde um die Sonne, Jupiter mit 13 und Neptun nur noch mit 5,4. Erst Isaac Newton erklärte 1687 mit dem Gravitationsgesetz, **warum** die Planeten den Keplerschen Gesetzen folgen.

2.6 Galilei: Beweise mit dem Fernrohr

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Um 1609 hörte der italienische Physiker Galileo Galilei (1564–1642) von einer neuen Erfindung aus Holland, dem Fernrohr. Er baute sich selbst eines, das etwa zwanzigfach vergrößerte, und richtete es als einer der Ersten an den Himmel. Was er 1610 entdeckte, berichtete er in seinem Buch *Sternenbote*:

- Der **Mond** hat Berge und Krater; er ist kein vollkommener Himmelskörper, sondern eine Welt wie die Erde.
- Die **Milchstraße** besteht aus unzähligen einzelnen Sternen.
- **Jupiter** hat vier Monde, die ihn umkreisen. Es gibt also Himmelskörper, die sich nicht um die Erde drehen. Und die Erde kann sich bewegen, ohne ihren Mond zu verlieren – Jupiter tut es auch.
- **Venus** zeigt Phasen wie der Mond, und zwar alle: von der vollen, kleinen Scheibe bis zur großen, schmalen Sichel.

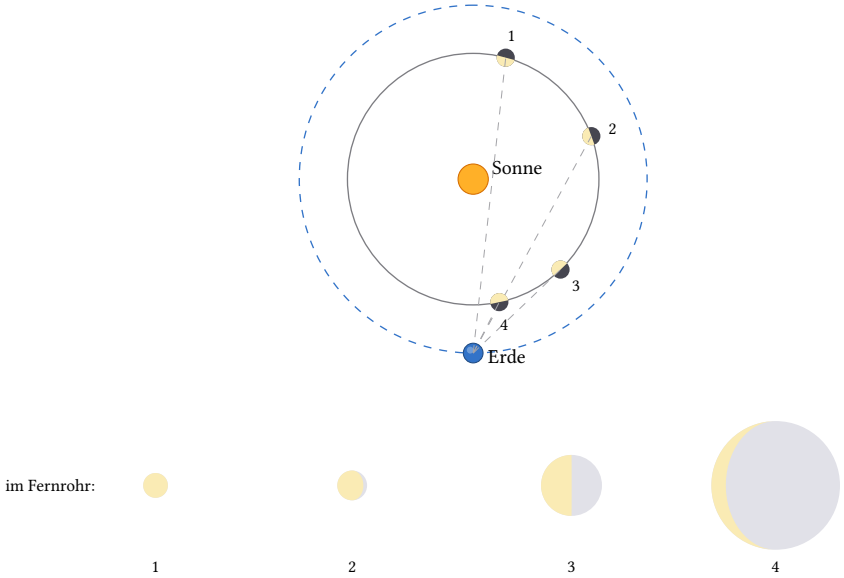


Abbildung 42: Venusphasen (berechnet). Oben: Venus an vier Orten ihrer Bahn, von oben gesehen; die zur Sonne gewandte Hälfte ist hell. Unten: wie sie dabei von der Erde aus im Fernrohr erscheint. Steht Venus hinter der Sonne (1), ist sie fast voll, aber klein; kommt sie der Erde nahe (4), ist sie eine große, schmale Sichel.

Besonders die Venusphasen waren ein starkes Argument: Im Weltbild des Ptolemäus steht Venus immer zwischen Erde und Sonne und könnte nur als Sichel erscheinen, nie voll. Die volle Phase gibt es nur, wenn Venus auch einmal **hinter** die Sonne läuft, also um die Sonne kreist. (Tychos Kompromissmodell konnte allerdings auch das erklären; die endgültige Entscheidung brachten Keplers genaue Bahnen und Newtons Gravitationsgesetz.)

Galilei trat öffentlich für das kopernikanische Weltbild ein. Die katholische Kirche sah darin einen Widerspruch zur Bibel. 1633 wurde er in Rom verurteilt, musste seiner Lehre abschwören und lebte bis zu seinem Tod unter Hausarrest. Erst 1992 räumte die Kirche offiziell ein, dass das Urteil ein Fehler war.

Merksatz

Der Weg zum heutigen Weltbild

- Ptolemäus (um 150): Die Erde ruht in der Mitte; Planeten laufen auf Epizykeln.
- Kopernikus (1543): Die Sonne steht in der Mitte; die Erde ist ein Planet und dreht sich täglich um ihre Achse.
- Tycho Brahe (um 1600): genaue Messungen; Kompromiss mit ruhender Erde.
- Kepler (1609, 1619): Ellipsenbahnen, aus Tychos Messungen gewonnen.
- Galilei (1610): Jupitermonde und Venusphasen mit dem Fernrohr.
- Newton (1687): Das Gravitationsgesetz erklärt die Bewegungen.
- Heute: Auch die Sonne ist nicht die Mitte der Welt, sondern einer von weit über hundert Milliarden Sternen der Milchstraße (Kapitel 6).

⋆ Wie Galilei: die Jupitermonde

Wenn Jupiter abends am Himmel steht (Sternkarten-App), richte ein Fernglas (am besten auf einem Stativ) oder ein kleines Fernrohr auf ihn. Neben dem hellen Scheibchen siehst du bis zu vier Lichtpünktchen in einer Linie: Io, Europa, Ganymed und Kallisto. Zeichne ihre Stellung an mehreren Abenden hintereinander. Nach wenigen Tagen erkennst du, dass sie Jupiter umkreisen.

Fachbegriffe: Planetenschleife · Weltbild · Modell · geozentrisch · heliozentrisch · Epizykel · Deferent · wahre und scheinbare Bewegung · Parallaxe · Ellipse · Brennpunkt · Gärtnerkonstruktion · Keplersche Gesetze · Venusphasen

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Keplersche Gesetze** ↗ · **Planetenschleifen** ↗



3 Die Gesteinsplaneten und die Erde

3.1 Zwei Familien von Planeten

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Vergleicht man die acht Planeten, fallen sofort zwei Gruppen auf (Tabelle 11): vier kleine, schwere, innen liegende – und vier große, leichtere, weit draußen.

Planet	Abstand	Radius	Masse	Dichte	Umlauf	Drehung	Temperatur	Monde
	AE	km	Erdmassen	$\frac{kg}{m^3}$		um die Achse	Mittel, °C	Stand 2025
Gesteinsplaneten								
Merkur	0,39	2440	0,055	5429	88 d	58,6 d	167	0
Venus	0,72	6052	0,815	5243	225 d	243 d [r]	464	0
Erde	1,00	6378	1	5514	365 d	23,9 h	15	1
Mars	1,52	3396	0,107	3934	687 d	24,6 h	−65	2
Gasplaneten								
Jupiter	5,20	71 492	318	1326	11,9 a	9,9 h	−110	über 90
Saturn	9,57	60 268	95,2	687	29,4 a	10,7 h	−140	über 250
Uranus	19,2	25 559	14,5	1270	84 a	17,2 h [r]	−195	über 25
Neptun	30,2	24 764	17,1	1638	164 a	16,1 h	−200	über 15

Tabelle 11: Steckbriefe der Planeten (NASA Planetary Fact Sheet, gerundet; Radius am Äquator; Temperatur: Mittelwert an der Oberfläche bzw. bei den Gasplaneten in der Höhe, in der der Druck so groß ist wie auf der Erde). r = rückläufig: Der Planet dreht sich andersherum als die meisten. d = Tage, a = Jahre, h = Stunden.

	Gesteinsplaneten	Gasplaneten
Planeten	Merkur, Venus, Erde, Mars	Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun
Lage	innen, nahe der Sonne (unter 2 AE)	außen, weit von der Sonne (über 5 AE)
Größe und Masse	klein und leicht; die Erde ist der größte	groß und schwer; Jupiter allein ist schwerer als alle anderen Planeten zusammen
Aufbau	Gestein und Metall, feste Oberfläche	vor allem Wasserstoff und Helium, keine feste Oberfläche
Dichte	hoch, 3900 bis 5500 $\frac{kg}{m^3}$	niedrig, 700 bis 1600 $\frac{kg}{m^3}$
Drehung	langsam (ein Tag bis 243 Tage)	schnell (10 bis 17 Stunden)
Monde und Ringe	wenige Monde, keine Ringe	viele Monde, alle haben Ringe

Tabelle 12: Gesteinsplaneten und Gasplaneten im Vergleich.

Warum ist das so? Als das Sonnensystem vor 4,6 Milliarden Jahren aus einer rotierenden Scheibe aus Gas und Staub entstand, war es nahe der jungen Sonne heiß. Dort konnten nur Gestein und Metall fest werden, und davon gab es wenig: Die inneren Planeten blieben klein. Weiter draußen war es so kalt, dass auch Wasser, Ammoniak und Methan zu Eis gefroren. Dort gab es viel mehr festes Material; die Planetenkerne wuchsen so groß, dass ihre Anziehung riesige Mengen Wasserstoff und Helium aus der Scheibe einfangen konnte (Skript AS7).

3.2 Die Dichte verrät das Innere

IMP 8 Wahlfach Astronomie

In einen Planeten hineinschauen kann man nicht. Aber man kann seine Masse bestimmen (aus der Bewegung seiner Monde oder vorbeifliegender Raumsonden, Skript AS5) und aus dem Radius sein Volumen berechnen. Daraus folgt die Dichte.

Merksatz

Dichte:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

Die **Dichte** ρ (griechisch „rho“) gibt an, wie viel Masse in einem Kubikmeter steckt. Zum Vergleich: Wasser $1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, Gestein etwa 2500 bis $3500\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, Eisen $7900\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$. Das Volumen einer Kugel mit dem Radius r ist $V = \frac{4}{3}\pi r^3$.

Beispiel 3

Die Erde hat die Masse $m = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ kg und den mittleren Radius $r = 6371$ km $= 6{,}371 \cdot 10^6$ m.

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi \cdot (6{,}371 \cdot 10^6\ \text{m})^3 \approx 1{,}08 \cdot 10^{21}\text{m}^3\ , \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{5{,}97 \cdot 10^{24}\ \text{kg}}{1{,}08 \cdot 10^{21}\text{m}^3} \approx 5500\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

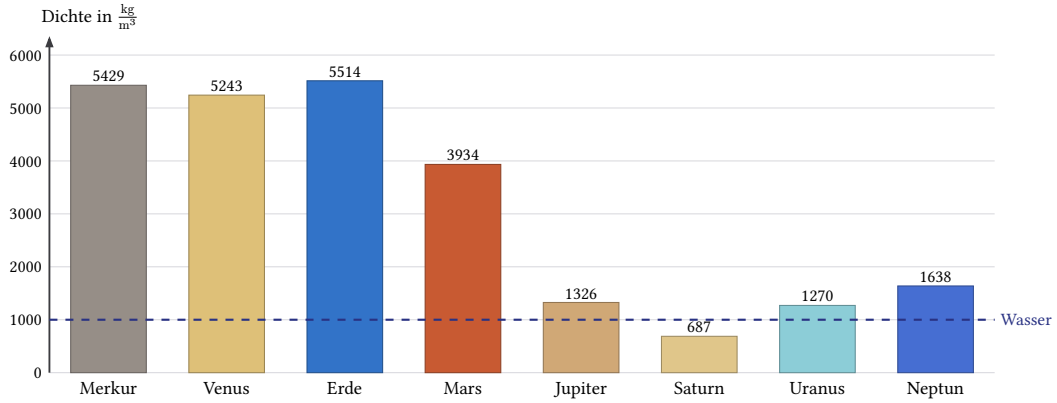


Abbildung 43: Mittlere Dichte der Planeten (NASA). Gestrichelt: Wasser. Saturn hat eine geringere Dichte als Wasser.

Die Erde ist im Mittel 5,5-mal so dicht wie Wasser, das Gestein an ihrer Oberfläche aber nur etwa 2,7-mal. Also muss es innen viel dichteres Material geben. Tatsächlich hat die Erde einen **Kern** aus Eisen und Nickel, darum einen **Mantel** aus heißem Gestein und außen eine dünne **Kruste** (Abbildung 44). Diesen Schalenbau kennt man aus Erdbebenwellen, die durch die Erde laufen und an den Grenzen der Schalen umgelenkt werden. Auch Merkur, Venus und Mars haben einen Eisenkern; der von Merkur ist im Verhältnis besonders groß.

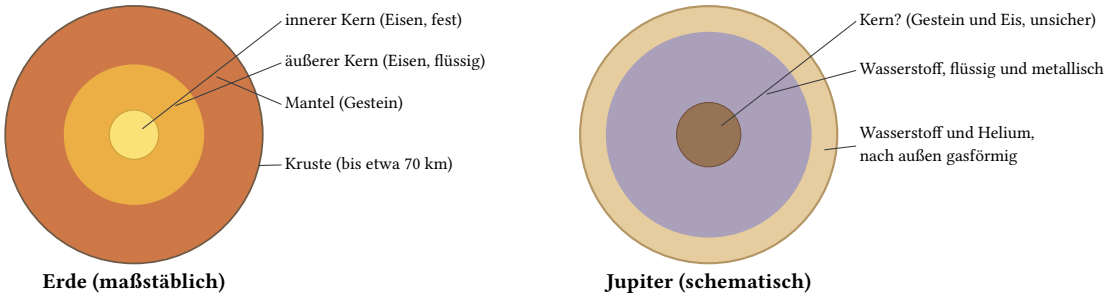


Abbildung 44: Schalenbau eines Gesteinsplaneten (Erde, maßstäblich) und eines Gasplaneten (Jupiter, schematisch; wie groß sein Kern ist, weiß man nicht genau). Die beiden Kugeln sind nicht im selben Maßstab gezeichnet: Jupiter ist elfmal so breit wie die Erde.

Typischer Fehler

Falsch: Große Planeten haben auch eine große Dichte.

Richtig: Die Dichte hängt vom Material ab, nicht von der Größe. Die großen Gasplaneten haben eine **kleinere** Dichte als die kleinen Gesteinsplaneten.

Jupiter hat zwar 318-mal so viel Masse wie die Erde, aber über 1000-mal so viel Volumen.

3.3 Merkur, Venus und Mars

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Merkur ist der kleinste Planet, nur etwas größer als unser Mond. Er hat praktisch keine Lufthülle (**Atmosphäre**). Seine Oberfläche ist mit Kratern übersät wie die des Mondes, denn ohne Luft verglühen keine Brocken aus dem All, und es gibt weder Wind noch Regen, die Krater einebnen. Auf der Tagseite wird es über 400 °C heiß, auf der Nachtseite kälter als

−170 °C. Merkur dreht sich in 58,6 Tagen einmal um seine Achse. Von Sonnenaufgang bis zum nächsten Sonnenaufgang vergehen dort aber 176 Tage – zwei Merkurjahre.

Venus ist fast so groß wie die Erde und wird deshalb manchmal ihr „Zwilling“ genannt. Sie ist aber ganz anders. Ihre dichte Atmosphäre besteht zu 96 % aus Kohlenstoffdioxid; der Druck am Boden ist 92-mal so groß wie auf der Erde, so viel wie in 900 m Meerestiefe. Dichte Wolken aus Schwefelsäure verhüllen die Oberfläche. Am Boden herrschen 464 °C, heiß genug, um Blei zu schmelzen – Venus ist heißer als Merkur, obwohl sie fast doppelt so weit von der Sonne entfernt ist. Schuld ist ein extrem starker **Treibhauseffekt**: Das Kohlenstoffdioxid lässt die Wärmestrahlung des Bodens kaum ins All entweichen (Skript AS7). Venus dreht sich sehr langsam und andersherum als die Erde: Dort geht die Sonne im Westen auf.

Mars ist etwa halb so breit wie die Erde. Seine rote Farbe kommt von Eisenoxid, also Rost, im Staub. Seine Atmosphäre aus Kohlenstoffdioxid ist sehr dünn: Der Druck beträgt weniger als ein Hundertstel des Luftdrucks auf der Erde. An den Polen liegen Kappen aus Wassereis und gefrorenem Kohlenstoffdioxid. Mars hat den höchsten Vulkan des Sonnensystems, den Olympus Mons (rund 22 km hoch, zweieinhalbmal so hoch wie der Mount Everest), und ein Grabensystem, das 4000 km lang ist. Ausgetrocknete Flusstäler zeigen: Vor Milliarden Jahren floss auf dem Mars Wasser. Ein Marstag dauert 24 Stunden und 40 Minuten, fast so lang wie ein Erdtag. Mars hat zwei kleine, unregelmäßig geformte Monde, Phobos und Deimos.

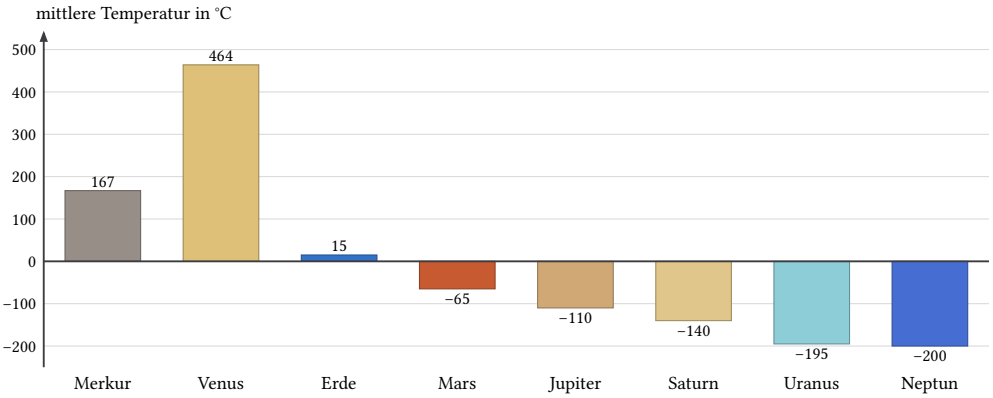


Abbildung 45: Mittlere Temperaturen der Planeten (NASA). Die Temperatur sinkt mit dem Abstand zur Sonne – mit einer Ausnahme: Venus.

Tag ist nicht gleich Tag

Wie lange sich ein Planet einmal um seine Achse dreht (**Rotation**), und wie lange es von einem Mittag bis zum nächsten dauert, ist nicht dasselbe, weil der Planet dabei auch ein Stück um die Sonne weiterläuft. Bei der Erde ist der Unterschied klein: Sie dreht sich in 23 Stunden und 56 Minuten einmal, der **Erdtag** von Mittag zu Mittag dauert 24 Stunden (Skript AS2). Bei Merkur und Venus, die sich sehr langsam drehen, ist der Unterschied riesig.

3.4 Die Erde, ein besonderer Planet

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Die Erde ist der einzige Himmelskörper, von dem wir wissen, dass er Leben trägt. Dafür kommt vieles zusammen:

- **Flüssiges Wasser:** Die Erde ist genau so weit von der Sonne entfernt, dass Wasser an ihrer Oberfläche weder ganz verdampft (wie auf der Venus) noch ganz gefriert (wie auf dem Mars).
- **Eine schützende Atmosphäre:** Die Luft aus 78 % Stickstoff und 21 % Sauerstoff hält die Wärme, sodass die mittlere Temperatur bei 15 °C liegt statt bei etwa −18 °C. Die Ozonschicht hält einen großen Teil der gefährlichen ultravioletten Strahlung ab, und kleine Brocken aus dem All verglühen.
- **Ein Magnetfeld:** Das **Magnetfeld** der Erde entsteht im flüssigen äußeren Eisenkern. Es lenkt die schnellen geladenen Teilchen des **Sonnenwinds** ab, die sonst die Atmosphäre nach und nach abtragen würden. An den Polen dringen einige ein und bringen die Luft zum Leuchten: Polarlichter.
- **Die richtige Größe:** Die Erde ist groß genug, um ihre Atmosphäre festzuhalten. Mars ist dafür zu klein; er hat einen großen Teil seiner Luft verloren.

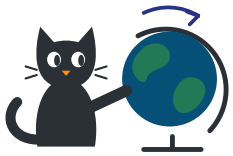
Venus und Mars zeigen, wie leicht es anders hätte kommen können. Aus großer Entfernung ist die Erde nur ein winziger Punkt: 1990 drehte sich die Raumsonde Voyager 1 vom Rand des Planetensystems noch einmal um und fotografierte die

Erde aus sechs Milliarden Kilometern als „blassblauen Punkt“. Im lebensfeindlichen Sonnensystem ist die Erde eine Ausnahme, die es zu schützen gilt.

⋆ Venus im Fernrohr
Venus ist nach Sonne und Mond das hellste Objekt am Himmel. Beobachte sie in der Abenddämmerung über mehrere Wochen mit einem Fernrohr (ab etwa 30-facher Vergrößerung) und zeichne ihre Gestalt: Du siehst, wie sie von Woche zu Woche größer und schmaler wird – oder umgekehrt. **Sicherheit:** Venus steht nahe bei der Sonne. Beobachte erst, wenn die Sonne untergegangen ist, und richte Fernrohr oder Fernglas nie auf die Sonne, sonst drohen schwere Augenschäden.

Fachbegriffe: Dichte · Kern · Mantel · Kruste · Atmosphäre · Treibhauseffekt · Rotation · Erdtag · Magnetfeld · Sonnenwind

Üben: **noctua ↗** Ausprobieren: **Dichte ↗** · **Einfaches Treibhausmodell ↗** · **Erdmagnetfeld und Kompass ↗**



4 Die Gasplaneten, Ringe und Monde

4.1 Riesen aus Gas

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Die vier äußeren Planeten sind Riesen. Jupiter hat die 318-fache Masse der Erde, mehr als doppelt so viel wie alle anderen Planeten zusammen. Die Gasplaneten bestehen vor allem aus den leichtesten Stoffen, die es gibt: Wasserstoff und Helium, also aus demselben Material wie die Sonne. Eine feste Oberfläche wie die Erde haben sie nicht. Steigt man in ihre Atmosphäre hinab, wird das Gas immer dichter und heißer und geht allmählich in eine Flüssigkeit über; tief im Inneren liegt vermutlich ein Kern aus Gestein und Eis. Was man von außen sieht, sind die obersten Wolkenschichten.

Jupiter und Saturn heißen **Gasriesen**. Uranus und Neptun sind kleiner und enthalten im Inneren viel Wasser, Ammoniak und Methan. Weil diese Stoffe bei der Entstehung als Eis vorlagen, nennt man die beiden auch **Eisriesen**. Das Methan in ihrer Atmosphäre schluckt rotes Licht; darum sehen sie blaugrün bzw. blau aus.

Alle vier Riesen drehen sich sehr schnell: Ein Tag auf Jupiter dauert keine zehn Stunden. Durch die schnelle Drehung sind sie deutlich abgeplattet. Saturn ist am Äquator um ein Zehntel breiter als von Pol zu Pol, das sieht man schon im kleinen Fernrohr.

Typischer Fehler

Falsch: Auf Jupiter könnte man landen wie auf dem Mars.

Richtig: Jupiter hat keine feste Oberfläche. Eine Sonde würde immer tiefer in immer dichteres und heißeres Gas sinken, bis der Druck sie zerquetscht.

1995 sendete eine Messkapsel der Raumsonde Galileo knapp eine Stunde lang aus der Jupiteratmosphäre.

4.2 Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Jupiter ist von bunten Wolkenbändern umgeben, die durch die schnelle Drehung zu Streifen gezogen werden. Der **Große Rote Fleck** ist ein Wirbelsturm, in den die ganze Erde hineinpassen würde; man beobachtet ihn seit über 150 Jahren. Jupiter hat das stärkste Magnetfeld aller Planeten und an seinen Polen gewaltige Polarlichter.

Saturn ist der Planet mit den prächtigsten Ringen. Er ist fast so groß wie Jupiter, hat aber nur ein knappes Drittel seiner Masse. Seine mittlere Dichte ist mit $687\,\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}$ kleiner als die von Wasser. Fände man eine Badewanne, die groß genug ist, würde Saturn darin schwimmen. Am Nordpol umgibt ihn ein sechseckiger Wirbel.

Uranus ist der erste Planet, der mit einem Fernrohr entdeckt wurde: 1781 von Wilhelm Herschel, einem Musiker und Astronomen aus Hannover, der in England lebte. Seine Achse ist um 98° gekippt; er „rollt“ also gewissermaßen auf seiner Bahn um die Sonne. Dadurch zeigt in seinem 84 Jahre langen Jahr jeder Pol einmal jahrzehntelang zur Sonne, während am anderen Pol Nacht herrscht.

Neptun wurde 1846 am Schreibtisch entdeckt. Uranus lief nicht genau so, wie es die Rechnungen vorhersagten; offenbar zog ein unbekannter Planet an ihm. Der Franzose Urbain Le Verrier berechnete, wo dieser stehen müsste, und der Astronom Johann Gottfried Galle fand ihn in Berlin noch in derselben Nacht, in der er die Berechnung erhalten hatte, ganz nahe bei der vorhergesagten Stelle. Auf Neptun wehen die schnellsten Winde des Sonnensystems, über 2000 Kilometer pro Stunde. Uranus und Neptun hat bisher nur Voyager 2 besucht (1986 und 1989).

4.3 Ringe

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Alle vier Gasplaneten haben **Ringe** – aber nur die von Saturn sind hell und breit genug, um sie im Fernrohr zu sehen. Die anderen wurden erst 1977 (Uranus) und von den Voyager-Sonden (Jupiter 1979, Neptun 1989) entdeckt; sie sind dunkel und dünn.

Galilei sah 1610 an Saturn zwei seltsame „Henkel“, die er nicht deuten konnte. Erst Christiaan Huygens erkannte einige Jahrzehnte später, dass Saturn von einem Ring umgeben ist, der ihn nirgends berührt. Heute weiß man: Die Ringe bestehen aus unzähligen einzelnen Brocken, vor allem aus Wassereis, von Staubkörnern bis zu Stücken so groß wie ein Haus. Jedes Stück umkreist Saturn wie ein winziger Mond. Die Ringe sind über 270 000 km breit (von Rand zu Rand), aber an den meisten Stellen nur einige zehn Meter dick – im Verhältnis viel dünner als ein Blatt Papier.

Typischer Fehler

Falsch: Die Saturnringe sind feste Scheiben.

Richtig: Die Ringe bestehen aus Milliarden einzelner Eis- und Gesteinsbrocken, die Saturn unabhängig voneinander umkreisen. Die inneren laufen schneller als die äußeren.

Eine feste Scheibe würde dabei zerreißen.

4.4 Monde

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Die Gasplaneten haben Dutzende bis Hunderte Monde; fast jedes Jahr werden neue entdeckt (Saturn: über 250, Stand 2025). Die allermeisten sind nur wenige Kilometer groß und unregelmäßig geformt, vermutlich eingefangene Brocken. Einige wenige sind aber große, runde Welten, manche größer als der Planet Merkur.

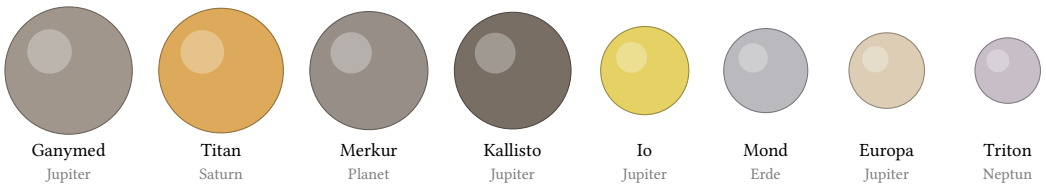


Abbildung 46: Die sieben größten Monde des Sonnensystems und zum Vergleich der Planet Merkur, Radien maßstäblich (NASA, gerundet). Unser Mond ist der fünftgrößte.

- Die vier großen **Jupitermonde**, die Galilei entdeckte, heißen nach ihm **Galileische Monde**. **Io** ist der Körper mit den meisten aktiven Vulkanen im ganzen Sonnensystem. **Europa** hat eine Kruste aus Eis, unter der ein Ozean aus flüssigem Wasser liegt – einer der Orte, an denen man nach Leben sucht. **Ganymed** ist der größte Mond überhaupt, größer als Merkur, und hat ein eigenes Magnetfeld. **Kallisto** ist dicht mit Kratern bedeckt.
- **Titan**, der größte Saturnmond, ist der einzige Mond mit einer dichten Atmosphäre, vor allem aus Stickstoff. Auf seiner Oberfläche gibt es Seen und Flüsse, aber aus flüssigem Methan, denn es ist dort etwa −180 °C kalt. 2005 landete die europäische Sonde Huygens auf Titan.
- Aus Spalten am Südpol des kleinen Saturnmonds **Enceladus** schießen Fontänen aus Wasserdampf und Eis: Auch er hat einen Ozean unter dem Eis.
- **Triton** umkreist Neptun andersherum, als Neptun sich dreht. Vermutlich ist er ein eingefangener Körper aus dem Kuipergürtel.

4.5 Magnetfelder

Wahlfach Astronomie

Ein Planet hat ein starkes **Magnetfeld**, wenn sich in seinem Inneren eine elektrisch leitende Flüssigkeit bewegt. Bei der Erde ist das flüssige Eisen im äußeren Kern, bei Jupiter und Saturn flüssiger, metallischer Wasserstoff. Alle vier Gasplaneten haben starke Magnetfelder, das von Jupiter ist das stärkste. Von den Gesteinsplaneten hat außer der Erde nur Merkur ein schwaches Magnetfeld. Venus und Mars haben keines: Venus dreht sich vermutlich zu langsam, und das Innere des kleinen Mars ist schon weitgehend erkaltet.

⋆ Saturnringe und Jupiterwolken

Schon ein kleines Fernrohr zeigt bei etwa 30- bis 50-facher Vergrößerung die Ringe des Saturn und bei Jupiter zwei dunkle Wolkenbänder. Wann sie abends zu sehen sind, sagt eine Sternkarten-App. Weil Saturn in 29 Jahren einmal um die Sonne läuft, sehen wir die Ringe mal schräg von oben, mal von unten und etwa alle 15 Jahre genau von der Kante – dann sind sie fast unsichtbar.

Fachbegriffe: Gasriese · Eisriese · Abplattung · Großer Roter Fleck · Ringe · Galileische Monde · Magnetfeld

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Masse, Gewichtskraft und Ortsfaktor** ↗ · **Dichte** ↗



5 Kleine Körper: Zwergplaneten, Asteroiden, Kometen, Meteore

5.1 Zwergplaneten

Wahlfach Astronomie

Pluto wurde 1930 entdeckt und galt 76 Jahre lang als neunter Planet. Dann fand man immer mehr ähnliche Körper jenseits von Neptun, 2005 sogar einen, der etwas mehr Masse hat als Pluto: Eris. Sollte man alle zu Planeten erklären? Die Internationale Astronomische Union (IAU) legte 2006 fest, was ein Planet ist.

Definition

Ein **Planet** ist ein Himmelskörper, der
a) die Sonne umkreist,
b) genug Masse hat, dass ihn seine eigene Anziehung zu einer fast runden Kugel formt, und
c) die Umgebung seiner Bahn von anderen Körpern freigeräumt hat.

Ein **Zwergplanet** erfüllt die Bedingungen a) und b), aber nicht c), und ist kein Mond.

Pluto teilt seine Bahn mit Tausenden von Körpern des Kuipergürtels; er ist deshalb ein Zwergplanet. Offiziell anerkannt sind bisher fünf: **Ceres** im Asteroidengürtel sowie **Pluto**, **Eris**, **Haumea** und **Makemake** jenseits von Neptun. Vermutlich gibt es viele weitere.

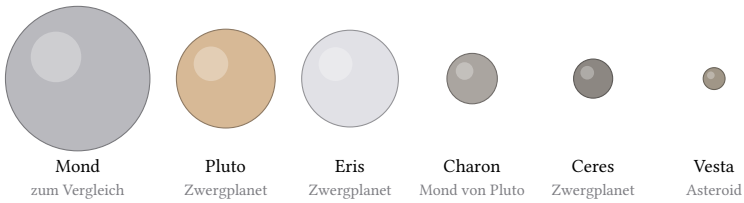


Abbildung 47: Zwergplaneten und Kleinkörper im Vergleich zum Mond, Radien maßstäblich (gerundete Werte; Haumea und Makemake sind nicht kugelrund bzw. ungenau bekannt und fehlen). Pluto ist kleiner als unser Mond.

Pluto ist kleiner als unser Mond. Er braucht 248 Jahre für einen Umlauf, auf einer so langgestreckten Bahn, dass er zeitweise näher an der Sonne steht als Neptun. 2015 flog die Raumsonde New Horizons an ihm vorbei und zeigte eine überraschend vielfältige Welt: Berge aus Wassereis und eine riesige, herzförmige Ebene aus gefrorenem Stickstoff. Plutos größter Mond Charon ist halb so groß wie Pluto selbst.

5.2 Asteroiden

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Asteroiden (Kleinplaneten) sind Körper aus Gestein und Metall, die die Sonne umkreisen, meist kartoffelförmig und von wenigen Metern bis zu einigen hundert Kilometern groß. Bekannt sind über eine Million (Stand 2024). Die meisten kreisen im **Asteroidengürtel** zwischen Mars und Jupiter, zwischen etwa 2,1 und 3,3 AE (Abbildung 35). Der erste, Ceres, wurde am 1. Januar 1801 entdeckt; heute zählt er als Zwergplanet.

Der Asteroidengürtel ist kein zerstörter Planet. Vermutlich hat die starke Anziehung des nahen Jupiter verhindert, dass sich die Brocken dort zu einem Planeten zusammenballten. Alle Asteroiden des Gürtels zusammen haben weniger als ein Zwanzigstel der Masse unseres Mondes, und Ceres allein macht davon schon gut ein Drittel aus. Der Gürtel ist so leer, dass Raumsonden ihn durchfliegen, ohne ausweichen zu müssen – anders als in Science-Fiction-Filmen.

Manche Asteroiden haben Bahnen, die der Erdbahn nahekommen: die **erdnahen Asteroiden**. Mehrere Raumsonden haben Asteroiden besucht und Proben zur Erde gebracht: Hayabusa2 vom Asteroiden Ryugu (2020) und OSIRIS-REx vom Asteroiden Bennu (2023). Die Proben sind Material aus der Entstehungszeit des Sonnensystems, unverändert seit 4,6 Milliarden Jahren.

5.3 Kometen

IMP 8 Wahlfach Astronomie

Ein **Komet** ist ein Brocken aus Eis, Staub und Gestein, ein „schmutziger Schneeball", meist nur wenige Kilometer groß. Dieser **Kern** ist sehr dunkel, dunkler als Kohle. Die meisten Kometen ziehen weit draußen ihre Bahnen, wo sie tiefgefroren sind. Manche laufen aber auf sehr langgestreckten Ellipsen in das innere Sonnensystem.

Nähert sich ein Komet der Sonne, erwärmt sich der Kern. Das Eis geht direkt vom festen in den gasförmigen Zustand über und reißt Staub mit. Um den Kern bildet sich eine leuchtende Hülle aus Gas und Staub, die **Koma**, oft größer als Jupiter. Der Sonnenwind und das Licht der Sonne drücken Gas und Staub zur Seite und formen einen **Schweif**, der viele Millionen Kilometer lang werden kann. Meist sieht man zwei:

- Der **Gasschweif** (Ionenschweif) ist gerade, bläulich und zeigt genau von der Sonne weg; ihn bläst der Sonnenwind fort.
- Der **Staubschweif** ist breiter, gelblich und leicht gekrümmt, weil die Staubteilchen auf ihrer Bahn um die Sonne hinter dem Kometen zurückbleiben.

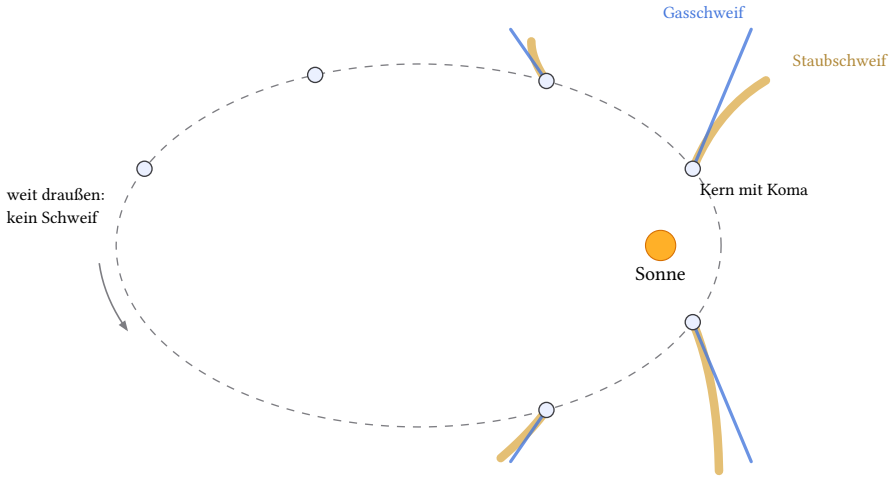


Abbildung 48: Bahn eines Kometen um die Sonne (Ellipse, berechnet; Schweiflängen als Modell). Die Schweife entstehen erst in Sonnennähe und zeigen immer von der Sonne weg – auch wenn sich der Komet von der Sonne entfernt; dann fliegt der Schweif voraus.

Typischer Fehler

Falsch: Der Schweif eines Kometen zeigt nach hinten, wie bei einer Rakete.
Richtig: Der Schweif zeigt immer von der Sonne weg, egal wohin der Komet fliegt.

Er entsteht nicht durch die Bewegung, sondern weil Sonnenwind und Sonnenlicht Gas und Staub von der Sonne wegdrücken. Am Himmel bewegt sich ein Komet auch nicht sichtbar schnell; er steht scheinbar still und verändert seine Lage erst von Nacht zu Nacht.

Der berühmteste Komet ist der **Halleysche Komet**. Edmond Halley erkannte, dass die Kometen von 1531, 1607 und 1682 derselbe Körper waren, und sagte seine Rückkehr für 1758 voraus. Er kam pünktlich, Halley erlebte es aber nicht mehr. Der Komet kehrt etwa alle 76 Jahre wieder, zuletzt 1986, das nächste Mal 2061. 1986 flog die europäische Sonde Giotto an seinem Kern vorbei.

Ganz nah kam die europäische Sonde **Rosetta** einem Kometen: Sie startete 2004, erreichte 2014 den Kometen 67P/Tschurjumow-Gerassimenko, umkreiste ihn über zwei Jahre und setzte den kleinen Lander Philae auf ihm ab. 2016 endete die Mission mit einer gezielten Landung der Sonde selbst. Der Kern ist etwa 4 km lang, hat die Form einer Badeente und ist nur etwa halb so dicht wie Wasser – also sehr porös. Rosetta fand im Staub auch organische Moleküle, Bausteine, aus denen auf der Erde Leben besteht.

5.4 Meteore und Meteoriten

Zusatz

Im Sonnensystem fliegen unzählige kleine Teilchen umher, viele davon Staub, den Kometen verloren haben. Trifft ein solches Teilchen auf die Erdatmosphäre, ist es mit 11 bis 72 Kilometern pro Sekunde unterwegs. In etwa 80 bis 120 km Höhe wird es durch die Luft so stark abgebremst und erhitzt, dass es verglüht und die Luft entlang seiner Bahn zum

Leuchten bringt. Wir sehen eine **Sternschnuppe**. Die meisten Sternschnuppen stammen von Teilchen, die nicht größer sind als ein Sandkorn.

Definition

- Ein **Meteoroid** ist ein kleiner Körper im All, vom Staubkorn bis zum Felsbrocken.
- Ein **Meteor** ist die Leuchterscheinung, wenn ein Meteoroid in der Atmosphäre verglüht: eine Sternschnuppe, bei großen Brocken eine helle **Feuerkugel**.
- Ein **Meteorit** ist ein Stück, das den Flug durch die Atmosphäre übersteht und auf den Boden fällt.

Kreuzt die Erde die Bahn eines Kometen, trifft sie auf besonders viele seiner Staubteilchen: Es gibt einen **Meteorstrom**. Weil die Teilchen alle parallel fliegen, scheinen ihre Spuren aus einem Punkt am Himmel zu kommen, dem **Radianten**; nach dem Sternbild, in dem er liegt, ist der Strom benannt. Der bekannteste ist der Strom der **Perseiden** um den 12. August, der vom Kometen Swift-Tuttle stammt. Ein anderer sind die **Geminiden** um den 14. Dezember.

Meteoriten gibt es aus Stein, aus Eisen oder gemischt. Sie sind die einzigen Stücke von anderen Himmelskörpern, die man ohne Raumfahrt in die Hand nehmen kann. 2002 fiel bei Füssen in Bayern der Meteorit „Neuschwanstein“; Stücke davon wurden gefunden, nachdem Kameras seine Feuerkugel aufgezeichnet hatten und man seine Bahn berechnen konnte.

⋆ Sternschnuppen zählen

Die Perseiden sind am besten in den Nächten um den 12. August zu sehen, und zwar nach Mitternacht, wenn der Radiant im Sternbild Perseus hoch im Nordosten steht. Suche einen dunklen Ort ohne Straßenlaternen, lege dich auf eine Isomatte oder einen Liegestuhl und blicke einfach in den Himmel; ein Fernrohr braucht man nicht. Lass den Augen 20 Minuten Zeit, sich an die Dunkelheit zu gewöhnen. Zähle, wie viele Sternschnuppen du in jeder Viertelstunde siehst.

5.5 Kuipergürtel und Oortsche Wolke

Wahlfach Astronomie

Jenseits von Neptun, zwischen etwa 30 und 50 AE, liegt der **Kuipergürtel**, eine breite Zone aus Tausenden eisiger Körper, darunter Pluto. Er ist nach dem niederländisch-amerikanischen Astronomen Gerard Kuiper benannt. Das erste Objekt nach Pluto und Charon wurde dort 1992 entdeckt. 2019 flog New Horizons an einem kleinen Körper des Kuipergürtels vorbei, Arrokoth, der wie ein Schneemann aus zwei verklebten Kugeln aussieht. Aus dem Kuipergürtel kommen viele Kometen mit Umlaufzeiten unter 200 Jahren.

Andere Kometen haben Umlaufzeiten von Tausenden bis Millionen Jahren und kommen aus allen Richtungen. Der Niederländer Jan Oort schloss 1950 daraus, dass das Sonnensystem von einer riesigen, kugelförmigen Wolke aus Milliarden Kometenkernen umgeben ist: der **Oortschen Wolke**. Sie reicht nach heutigen Schätzungen von einigen tausend bis etwa 100 000 AE, über ein Lichtjahr weit. Gesehen hat sie noch niemand: Ihre Körper sind zu klein, zu dunkel und zu weit weg. Erst wenn einer von ihnen durch einen vorbeiziehenden Stern aus seiner Bahn geschubst wird und ins Innere fällt, sehen wir ihn als Kometen.

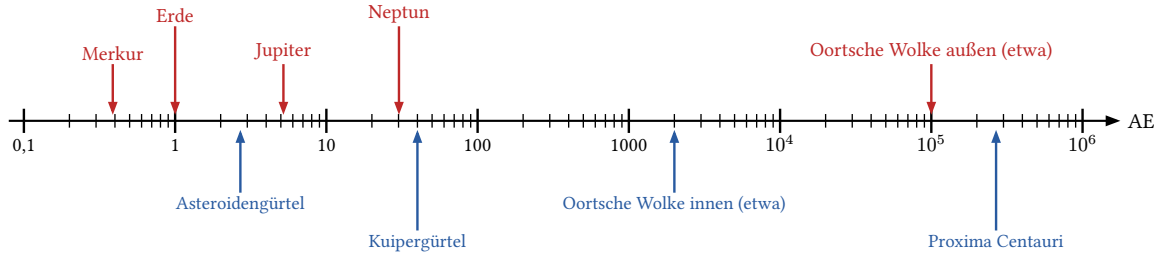


Abbildung 49: Entfernungen von der Sonne in AE auf einer logarithmischen Skala: Jeder Teilstrich nach rechts bedeutet „zehnmal so weit“. Die Grenzen der Oortschen Wolke sind nur grob geschätzt.

5.6 Gefahr aus dem All und ihre Abwehr

Zusatz

Der Mond ist mit Kratern übersät; jeder stammt von einem Einschlag. Die Erde wurde genauso oft getroffen, aber Wind, Wasser und die Bewegung der Erdkruste haben die meisten Krater ausgelöscht. Einige sind noch gut zu erkennen, zwei davon ganz in der Nähe: Vor etwa 15 Millionen Jahren schlug am Ostrand der Schwäbischen Alb ein Asteroid ein. Er

hinterließ das **Nördlinger Ries**, einen Krater von rund 25 km Durchmesser, und gleichzeitig das kleinere **Steinheimer Becken** bei Heidenheim, vermutlich durch einen Begleitbrocken.

Ereignis	wann	Größe des Körpers	Folgen
Chicxulub (Mexiko)	vor 66 Mio. Jahren	etwa 10 km	Krater von etwa 180 km; weltweite Katastrophe, Aussterben der Dinosaurier und vieler anderer Arten
Nördlinger Ries	vor etwa 15 Mio. Jahren	etwa 1 km	Krater von rund 25 km
Tunguska (Sibirien)	1908	einige zehn Meter	Explosion in der Luft; Wald auf rund 2000 km² umgeknickt
Tscheljabinsk (Russland)	2013	etwa 20 m	Explosion in etwa 30 km Höhe; zerborstene Fensterscheiben, rund 1500 Verletzte

Tabelle 13: Einige Einschläge und Explosionen von Kleinkörpern (gerundete Werte; Größen geschätzt).

Große Einschläge sind sehr selten. Brocken von einigen Metern treffen die Erde mehrmals im Jahr, verglühen aber in der Atmosphäre. Körper wie der von Tscheljabinsk kommen grob alle fünfzig bis hundert Jahre vor, einer von einem Kilometer im Mittel nur alle paar hunderttausend Jahre, einer wie Chicxulub alle rund hundert Millionen Jahre. Weil die Folgen aber verheerend wären, nehmen die Weltraumbehörden die Gefahr ernst.

Suchen und verfolgen. Teleskope durchmustern jede Nacht den Himmel nach erdnahen Asteroiden und berechnen ihre Bahnen weit in die Zukunft. Die allermeisten großen Brocken über einen Kilometer sind gefunden; keiner von ihnen trifft die Erde in den nächsten hundert Jahren. Der etwa 340 m große Asteroid Apophis wird am 13. April 2029 näher an der Erde vorbeifliegen als die Fernsehsatelliten in 36 000 km Höhe – ein Treffer ist aber ausgeschlossen.

Abwehren. Entdeckt man einen gefährlichen Brocken viele Jahre im Voraus, reicht ein kleiner Schubs, um ihn auf eine Bahn zu bringen, die die Erde verfehlt. Wie gut das geht, hat die NASA mit der Mission **DART** getestet: Am 26. September 2022 prallte die Sonde mit etwa 6 Kilometern pro Sekunde auf den rund 160 m großen Asteroidenmond Dimorphos, der den Asteroiden Didymos umkreist. Danach brauchte Dimorphos für einen Umlauf um Didymos 32 Minuten weniger als vorher (11 Stunden 23 Minuten statt 11 Stunden 55 Minuten). Zum ersten Mal hatten Menschen die Bahn eines Himmelskörpers absichtlich verändert. Die europäische Sonde Hera (Start 2024) soll das Doppelsystem aus der Nähe vermessen.

Typischer Fehler

Falsch: Einen gefährlichen Asteroiden sprengt man einfach in letzter Minute.

Richtig: Entscheidend ist, ihn früh zu entdecken. Dann reicht eine winzige Änderung seiner Geschwindigkeit, die sich über Jahre zu einem großen Abstand aufsummiert.

Eine Sprengung kurz vor dem Einschlag würde ihn nur in viele Trümmer zerlegen, die die Erde trotzdem treffen.

Fachbegriffe: Zwergplanet · Asteroid · erdnaher Asteroid · Komet · Kern · Koma · Gasschweif · Staubschweif · Meteoroid · Meteor · Meteorit · Meteorstrom · Radiant · Kuipergürtel · Oortsche Wolke · Einschlagkrater

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Keplersche Gesetze** ↗



6 Raumfahrt und das Sonnensystem in der Milchstraße

6.1 Warum Raumsonden?

Wahlfach Astronomie | Zusatz

Mit Teleskopen sieht man die Planeten nur als kleine Scheibchen. Wie ihre Oberflächen aussehen, woraus ihre Atmosphären bestehen, ob es unter dem Eis eines Mondes einen Ozean gibt – das erfährt man nur vor Ort. Seit den 1960er-Jahren schicken Menschen deshalb unbemannte **Raumsonden** zu den Planeten. Je nachdem, wie nah sie herankommen, unterscheidet man:

- **Vorbeiflug:** Die Sonde fliegt am Ziel vorbei und misst dabei, so viel sie kann (Voyager, New Horizons).
- **Umlaufbahn:** Die Sonde schwenkt in eine Bahn um das Ziel ein und beobachtet es über Jahre (Cassini bei Saturn, Juno bei Jupiter).
- **Landung:** Ein Lander setzt auf, ein Fahrzeug (**Rover**) fährt umher (die Marsrover Curiosity und Perseverance).
- **Probenrückführung:** Die Sonde bringt Material zur Erde (Apollo vom Mond, Hayabusa2 und OSIRIS-REx von Asteroiden).

Die Reise dauert lange: zum Mars etwa sieben Monate, zum Jupiter mehrere Jahre. Um Treibstoff zu sparen, holen sich Sonden oft Schwung bei einem Vorbeiflug an einem Planeten (**Swing-by**). Voyager 2 nutzte eine Stellung der Planeten, die es nur etwa alle 175 Jahre gibt, und besuchte nacheinander alle vier Gasplaneten. Wie Raketen funktionieren und auf welchen Bahnen Sonden fliegen, zeigt das Skript AS5.

Auch der Blick zurück auf die Erde ist wichtig. **Erdbeobachtungssatelliten** messen Temperatur und Meereshöhe, Eisflächen, Waldbrände und Ernten; Wettersatelliten wie Meteosat liefern seit 1977 die Bilder für die Wettervorhersage. Das europäische Programm Copernicus beobachtet die Erde seit 2014 mit den Sentinel-Satelliten. Ohne diese Daten wüsste man viel weniger über den Klimawandel.

6.2 Meilensteine der Erforschung

Wahlfach Astronomie | Zusatz

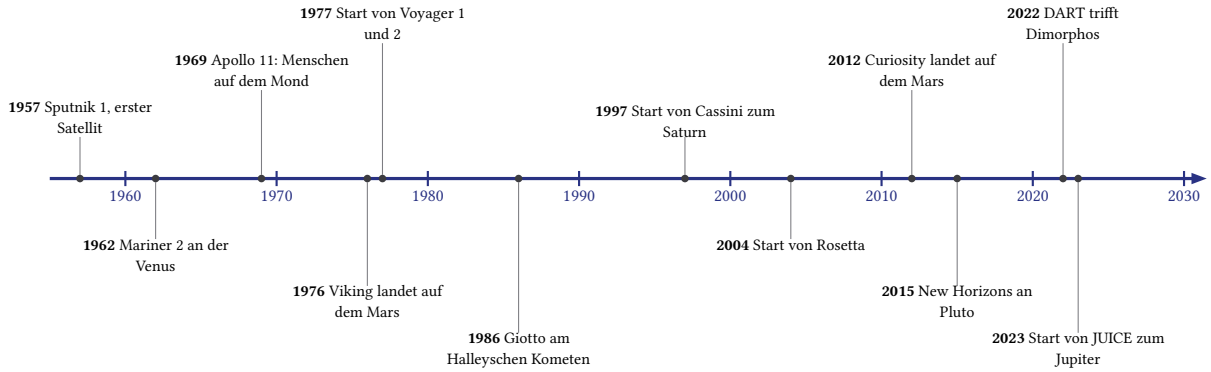


Abbildung 50: Einige Meilensteine der Erforschung des Sonnensystems.

Mission	Jahre	Was sie herausfand
Venera 7 (Sowjetunion)	1970	erste Messwerte von der Oberfläche eines anderen Planeten (Venus): rund 470 °C
Pioneer 10 (NASA)	Start 1972, Jupiter 1973	erste Sonde durch den Asteroidengürtel und an Jupiter vorbei
Voyager 1 und 2 (NASA)	Start 1977	Vulkane auf Io, Ringe von Jupiter, Uranus und Neptun, viele neue Monde; Voyager 1 verließ 2012 als erste Sonde den Bereich des Sonnenwinds; beide funken noch (Stand 2025)
Cassini-Huygens (NASA, ESA)	1997–2017	13 Jahre bei Saturn; Fontänen auf Enceladus; Huygens landete 2005 auf Titan
Rosetta (ESA)	2004–2016	erste Sonde in einer Umlaufbahn um einen Kometen; Lander Philae
New Horizons (NASA)	Start 2006	Pluto 2015, Arrokoth im Kuipergürtel 2019
Curiosity, Perseverance (NASA)	seit 2012, seit 2021	Spuren von altem Wasser auf dem Mars; der Hubschrauber Ingenuity flog 2021 als erstes Fluggerät auf einem anderen Planeten
DART (NASA)	2022	erste Ablenkung eines Asteroiden

Tabelle 14: Einige wichtige Raumsonden (Auswahl).

Die Voyager-Sonden tragen eine vergoldete Schallplatte mit Bildern, Musik und Grüßen in vielen Sprachen – eine Flaschenpost für mögliche Finder in ferner Zukunft. Sie fliegen mit rund 17 Kilometern pro Sekunde aus dem Sonnensystem hinaus; ein Funksignal von Voyager 1 ist fast einen ganzen Tag unterwegs.

6.3 Das Sonnensystem in der Milchstraße

IMP 8 Wahlfach Astronomie

An einem dunklen Ort sieht man im Spätsommer ein schwach leuchtendes Band quer über den Himmel ziehen: die **Milchstraße**. Galilei erkannte, dass sie aus unzähligen Sternen besteht. Heute wissen wir: Sie ist eine riesige, flache Scheibe aus 100 bis 400 Milliarden Sternen, eine **Galaxie**. Die Sonne ist einer davon. Weil wir mitten in der Scheibe sitzen, sehen wir sie von innen als Band rund um den Himmel.

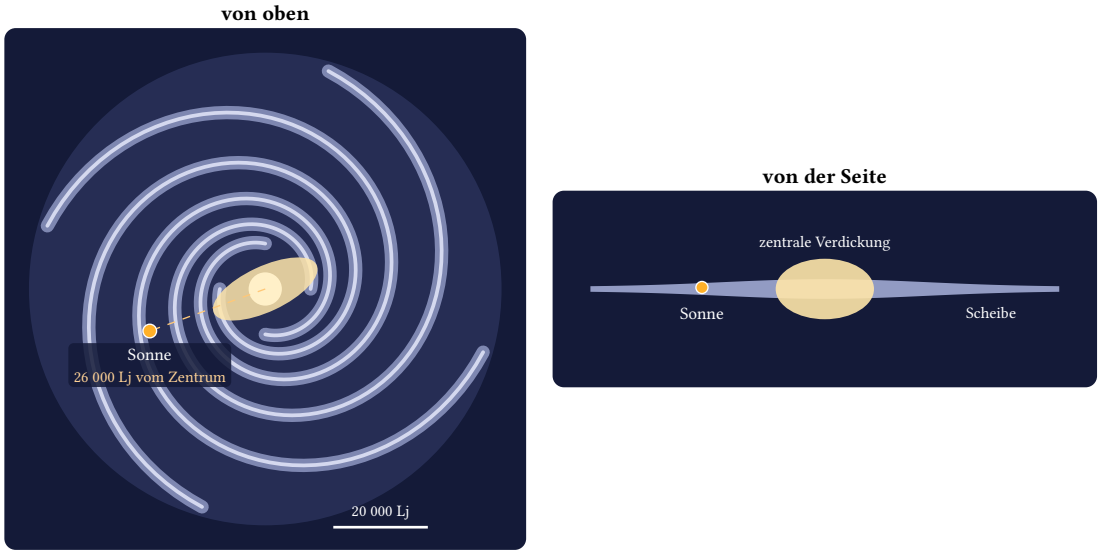


Abbildung 51: Die Milchstraße (schematisch). Von oben gesehen ist sie eine Spiralgalaxie mit einem balkenförmigen Zentrum; von der Seite eine dünne Scheibe mit einer Verdickung in der Mitte. Die Sonne liegt etwa 26 000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt, ungefähr auf halbem Weg zum Rand.

Merksatz

Unser Platz in der Milchstraße

- Die Milchstraße ist eine **Spiralgalaxie** mit einem Durchmesser von etwa 100 000 Lichtjahren. Ein **Lichtjahr** ist die Strecke, die Licht in einem Jahr zurücklegt, rund 9,5 Billionen km.
- Die Sonne steht nicht in der Mitte, sondern etwa 26 000 Lichtjahre vom Zentrum entfernt, in einem kleineren Spiralarm.
- Die Sonne umkreist mit dem ganzen Sonnensystem das Zentrum, mit etwa 230 Kilometern pro Sekunde. Für einen Umlauf braucht sie über 200 Millionen Jahre.

Das ganze Sonnensystem bis Neptun ist im Vergleich zur Milchstraße winzig: Würde man die Milchstraße auf die Größe Deutschlands verkleinern (rund 800 km), wäre die ganze Neptunbahn kleiner als eine Ein-Cent-Münze. Mehr über die Milchstraße steht im Skript AS10.

⋆ Die Milchstraße sehen

Die Milchstraße sieht man nur fern von Städten in einer mondlosen Nacht. Am schönsten ist sie im Spätsommer und Herbst abends: Sie zieht vom Sternbild Schwan hoch im Süden bis zum Horizont, wo sie im Sternbild Schütze am hellsten ist; dort liegt das Zentrum der Milchstraße. Ein Fernglas zeigt, dass sie sich in unzählige Sterne auflöst.

6.4 Andere Planetensysteme

IMP 8 | Wahlfach Astronomie

Haben auch andere Sterne Planeten? Lange wusste man es nicht, denn Planeten leuchten nicht selbst und gehen im Licht ihres Sterns unter. 1995 fanden Michel Mayor und Didier Queloz den ersten Planeten bei einem sonnenähnlichen Stern (Nobelpreis 2019). Inzwischen kennt man über 6000 solcher **Exoplaneten** (Stand 2025), und man vermutet, dass die meisten Sterne Planeten haben. Wie man sie findet, zeigt das Skript AS7.

Viele Planetensysteme sehen anders aus als unseres:

- Es gibt **heiße Jupiter**: Gasriesen, die ihren Stern in wenigen Tagen umrunden, viel näher als Merkur der Sonne.
- Am häufigsten sind Planeten, die größer als die Erde, aber kleiner als Neptun sind – eine Sorte, die es in unserem Sonnensystem gar nicht gibt.
- Um den kleinen Stern TRAPPIST-1, rund 40 Lichtjahre entfernt, kreisen sieben etwa erdgroße Planeten, alle näher an ihrem Stern als Merkur an der Sonne.

Ob irgendwo ein zweiter Planet wie die Erde kreist, mit flüssigem Wasser und Leben, ist eine der großen offenen Fragen der Astronomie.

Fachbegriffe: Raumsonde · Vorbeiflug · Umlaufbahn · Rover · Swing-by · Erdbeobachtungssatellit · Milchstraße · Galaxie · Spiralgalaxie · Lichtjahr · Exoplanet

Üben: **noctua** ↗ Ausprobieren: **Vom Wurf zur Umlaufbahn** ↗ · **Rückstoß: Federwagen und Rakete** ↗

