

Unterrichtsmaterialien zum Thema

Von der Erde zum Mond und zurück – Gravitation im Erde-Mond-System

JAHRGANGSSTUFE 11

Schülermaterial

Aufgabe 1

Laden Sie die App unter play.google.com/store/apps/details?id=com.ColumbusEye.Main herunter und installieren Sie sie. Befestigen Sie das ausgedruckte Arbeitsblatt mit dem Blick auf die Erde in Kopfhöhe an der Wand. Öffnen Sie die App und richten Sie Ihre Smartphone-Kamera auf das Arbeitsblatt.

- Gehen Sie ein paar Schritte vor und zurück (> 1 m), während Sie weiter die Kamera auf das Arbeitsblatt richten. Erde, Mond und der Abstand zwischen den beiden Körpern sind maßstabsgetreu implementiert. Bestimmen Sie den Maßstab mit den Ihnen zur Verfügung stehenden Mitteln.
- Gehen Sie mit der Kamera ganz nah an die Erde heran (< 20 cm). Stellen Sie eine Theorie auf, was dort passiert und wieso. Vergleichen Sie Ihre Theorie mit anderen Planetensystemen im Sonnensystem. Tipp: Betrachten Sie auch die Umlaufzeit bzw. Monatslänge.

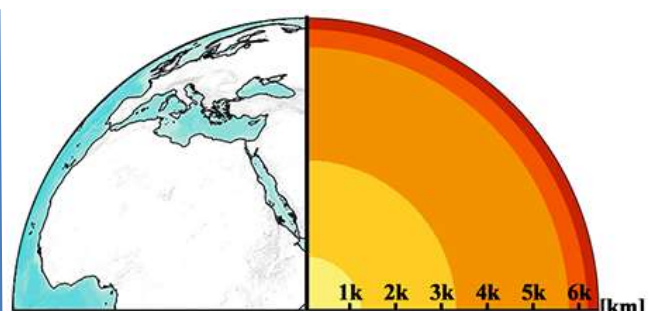
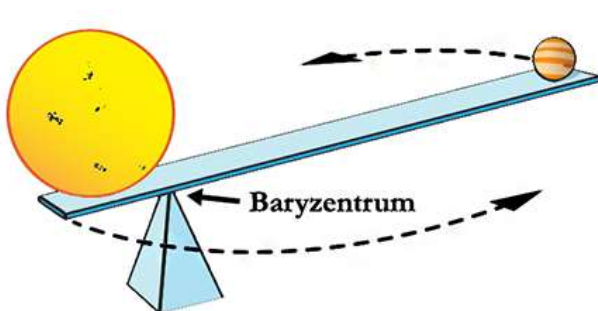
Aufgabe 2

Öffnen Sie die Anzeige der Gezeiten (oben auf dem Bildschirm) und gehen Sie erneut einige Schritte vor und zurück. Was lässt sich über die Auswirkungen der Mondentfernung auf die Gezeiten beobachten?

- Zeichnen Sie den Erde-Mond-Abstand in einem Graphen gegen die Auslenkung der Tidenhöhe, sprich der Auslenkung zwischen niedrigstem und höchstem gezeitenbedingtem Wasserstand, auf und beschreiben Sie ihn. Überlegen Sie, von welchen anderen Faktoren die Tidenhöhe abhängig ist.
- Gezeiten gibt es auch auf dem Mond und den anderen Monden des Sonnensystems. Diskutieren Sie die Auswirkungen. Denken Sie dabei auch an resultierende Kräfte wie beispielsweise Reibung.

Aufgabe 3

Erde und Mond drehen sich auf ihrer gemeinsamen Bahn um die Sonne um einen gemeinsamen Schwerpunkt bzw. ein Baryzentrum. Nehmen Sie für die folgenden Berechnungen vereinfacht an, dass sich die Massen von Erde und Mond jeweils auf einen Punkt konzentrieren.



Marker 1: Links: Darstellung des Baryzentrums zwischen einem Stern und seinem schweren Planeten (verändert nach NASA Spaceplace). **Rechts:** Karte der Erde von außen und innen (Eigene Darstellung). **Animation:** Bewegung zweier Körper um ein gemeinsames Baryzentrum (3D: eigene Animation, 2D: verändert nach NASA Spaceplace).

- Berechnen Sie die Position des Baryzentrums, der innerhalb der Erde liegt, für die minimale und die maximale Entfernung zwischen Erde und Mond und zeichnen Sie sie in Marker 1 (rechts) ein.
- Unter Astronomen wird diskutiert, Planet-Mond-Systeme mit einem Baryzentrum zwischen den Körpern als Doppelplaneten zu klassifizieren. Berechnen Sie, bei welchem Abstand zwischen Erde und Mond der Fall wird, wenn das Baryzentrum aus der Erde herausverlagert wird.
- Der Mond entfernt sich auf seiner Bahn im Mittel 3,8 cm pro Jahr von der Erde. Wie lange dauert es, bis das Baryzentrum zum ersten Mal zeitweise und dann dauerhaft aus der Erde herausverlagert wird? Bei welchen anderen Paaren im Sonnensystem ist dies bereits der Fall?
- Diskutieren Sie, wie ein Baryzentrum zur Planetensuche verwendet werden kann.

Aufgabe 4

Lesen Sie den Informationstext über die Entstehung des Erde-Mond-Systems.

- Diskutieren Sie die Auswirkungen des geringen Abstands gegenüber dem heutigen auf die junge Erde sowie...
- ...die Auswirkungen eines erheblich größeren Abstandes in ferner Zukunft.

Aufgabe 5

Richten Sie die Smartphone-Kamera Marker 2 und betrachten Sie das Video (Mondfinsternis aus dem All). Warum wirkt der Mond so klein im Vergleich zur Erde?

Aufgabe 6

Der Schatten der Erde trifft den Mond nicht bei jedem Vollmond, genauso, wie der Schatten des Mondes nicht bei jedem Neumond zu einer Sonnenfinsternis führt.

- Versuchen Sie bei verschiedenen Abständen zwischen der Abbildung der Erde und Ihrem Smartphone-Mond, Sonnenfinsternisse zu erzeugen. Fangen Sie bei max. 100.000 km Abstand von der Erde an und gehen Sie langsam rückwärts. Die Suchhilfe der App hilft beim Wiederfinden, sollte der Mondschatten verloren gehen.
- Erläutern Sie, wovon der Durchmesser des Mondschattens auf der Erde abhängig ist, und wie sich dieser berechnen lässt (Die Erdoberfläche darf zur Vereinfachung als flach angenommen werden).
- Die Mondbahn ist um nur 5° gegenüber der Erdbahn geneigt. Erklären Sie rechnerisch, wieso die Schatten von Mond und Erde den jeweils anderen Körper verfehlen können.

Tabellen und Formeln

	Sonne	Erde	Mond
Masse	$1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	$5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	$7,349 \cdot 10^{22} \text{ kg}$
Radius (Äquator)	696.342 km	6.378 km	1.737 km



Abbildung 1: Die der Erde zugewandte Seite des Mondes (Quelle: NASA).

	Minimum	Maximum
Entfernung Erde-Mond	356.410 km	406.740 km
Entfernung Sonne-Erde*	147.097.233 km	152.095.566 km

* jährlich Variabel, Werte für 2018

Baryzentrum:

$$r_E = r \cdot \frac{m_M}{m_E + m_M} \quad \text{bzw.} \quad r_M = r \cdot \frac{m_E}{m_E + m_M}$$

mit

r_E : Abstand Erdmittelpunkt – Baryzentrum

r : Abstand Erde-Mond

r_M : Abstand Mondmittelpunkt – Baryzentrum

m_E : Masse Erde

m_M : Masse Mond

Die Entstehung des Erde-Mond-Systems

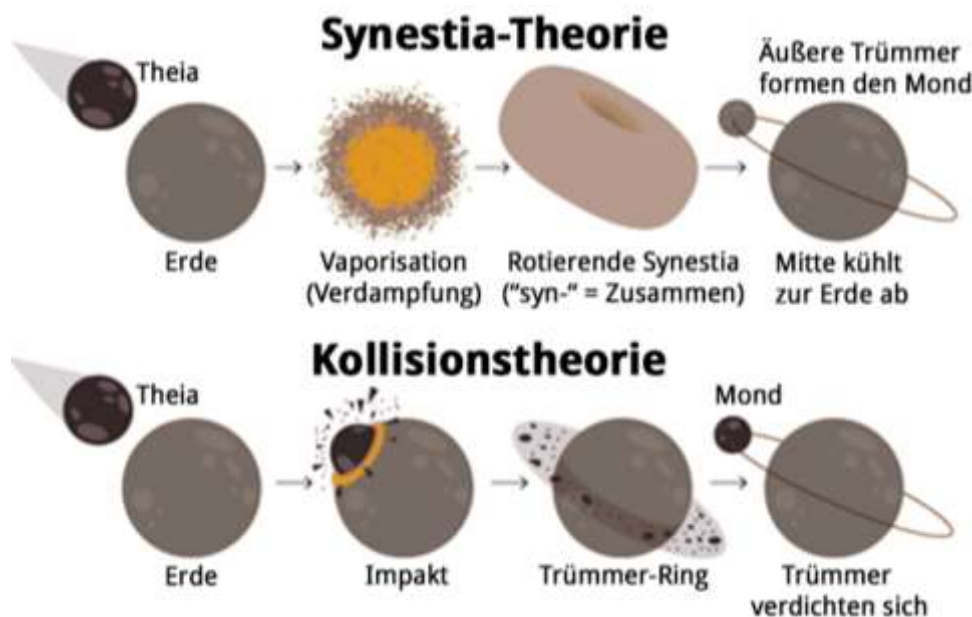
Vor etwa 4,5 Mrd. Jahren, als die Sonne sich gerade erst entzündet hatte, hatte sich die Ordnung im Sonnensystem, die wir heute kennen, noch nicht eingestellt. Die Gasriesen befanden sich auf weit engeren Bahnen um die Sonne. Bahnen von Planeten kreuzten sich mit denen anderer Planeten und großer Asteroiden. Die Bahn der Erde kreuzte sich mit der eines Planeten so groß wie der Mars, der heute Theia genannt wird. Die Kollision, bei der sich beide Planeten mit 100.000-200.000 km/h um die Sonne bewegten, zerstörte die beiden Körper völlig und hinterließ nur eine dichte Wolke aus flüssigem Gestein. Dicht und schwer genug, um sich um einen gemeinsamen Schwerpunkt zu drehen, formten sich aus der Gesteinswolke die Erde und ihr Mond.

Eine andere, gängige Theorie besagt, die beiden Planeten hätten sich nur gestreift, wobei Theia in der Erde aufgegangen und sich der Mond aus durch den Aufprall herausgeschleudertem Material beider Pla-

neten gebildet hat. Nach 4,5 Mrd. Jahren lässt sich der genaue Hergang nur noch modellieren. Die Isotopenzusammensetzungen von Erde und Mond sind jedoch so ähnlich, dass sie sich in jedem Falle aus der gleichen Materialquelle gebildet haben müssen. Ein starker Hinweis für die Entstehung aus einer Kollision ist die Beobachtung, dass der Mond sich heute mit ca. 3,8 cm im Jahr von der Erde entfernt. Da sich Erde und Mond nahe aneinander ausbildeten, drehte sich der Mond kurz nach seiner Entstehung noch sehr nahe um die Erde, in einem Abstand von 20-30.000 km – knapp außerhalb der Roche-Grenze, bei der die Gravitation der Erde den Mond zu einem Ring zerbrochen hätte.

Zwischen Erde und Mond herrscht durch die Wechselwirkungen ihrer Gravitation eine Gezeitenreibung, die beide Körper langsam in ihrer Rotation abbremst. Diese war für den Mond am Anfang so groß, dass seine Rotation binnen weniger

Millionen Jahre an die Erde gebunden wurde, d.h. immer die gleiche Seite der Erde zugewandt ist. Die Erdrotation wird ebenfalls abgebremst, durch den Massenunterschied von Erde und Mond (ca. 81:1) jedoch sehr viel langsamer. In ca. 15 Mrd. Jahren wird die Erde dem Mond ebenfalls immer die gleiche Seite zuwenden, bzw. der Mond nur noch von einer Seite der Erde aus zu sehen sein – sofern beide dann noch existieren, denn die Sonne wird sich in ca. 5 Mrd. Jahren zum roten Riesen aufblähen.



Marker 2: Kollisions- und Synestia-Theorie zur Mondentstehung. (Verändert nach: Quanta Magazine). Video: Mondfinsternis aus dem All (Quelle: Columbus Eye).

Weiterführende Quellen

www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/harvard-forscher-so-kam-die-erde-zu-ihrem-mond-a-1197606.html

www.weltderphysik.de/gebiet/planeten/entstehung-des-mondes/

(Englisch) curious.astro.cornell.edu/about-us/37-our-solar-system/the-moon/the-moon-and-the-earth/31-how-close-was-the-moon-to-the-earth-when-it-formed-intermediate

(Englisch) www.quantamagazine.org/what-made-the-moon-new-ideas-try-to-rescue-a-troubled-theory-20170802/