

Unterrichtsmaterialien zum Thema

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

JAHRGANGSSTUFE 11 – 13

Material für Lehrkräfte

# Projektinformation

Diese Unterrichtsmaterialien sind im Rahmen des Projektes „Columbus Eye – Live-Bilder von der ISS im Schulunterricht“ entstanden. Das Projekt Columbus Eye wird von der Raumfahrt-Agentur des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages unter dem Förderkennzeichen 50 JR 1703 gefördert.

Das übergeordnete Projektziel besteht in der Erarbeitung eines umfassenden Angebots an digitalen

Lernmaterialien für den Einsatz im Schulunterricht. Dieses Angebot umfasst interaktive Lerntools und Arbeitsblätter, die über ein Lernportal zur Verfügung gestellt werden.

Für dieses Lehrermaterial, die dazugehörige App und Schülermaterial gilt: © Columbus Eye (CC BY-NC-ND 2.0 DE)

<http://www.columbuseye.rub.de>



RUHR  
UNIVERSITÄT  
BOCHUM



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



## Übersicht

**Jahrgangsstufe**

11 12 13

**Niveau**



**Zeitbedarf**

2 Stunden

**Autorin**

Claudia Lindner

### Ziele

Die Schüler und Schülerinnen (SuS) sollen...

- die Auswirkungen differentieller Gravitation erkennen,
- Wechselwirkungen im Kräftesystem Erde-Mond erkennen,
- physikalische Größen begründet auswählen und deduktiv in einer Hypothese verarbeiten,
- ein Gedankenexperiment durchführen.

### Themen

Gravitation Höhenmodelle Gezeiten

Keplersche Gesetze Wechselwirkungen

Sonnensystem Erdgeschichte

Mondfinsternis Sonnenfinsternis

### Medien & Material

Arbeitsblatt "Von der Erde zum Mond und zurück"

Hintergrundinformationen zu Physik und Programmierung

Markerbild „Erde“

App "Das Erde-Mond-System"



# Didaktische Anmerkungen

## Stundenplanung

**Phase 0 (Vorbereitung):** Die App sollte von den SuS bereits einige Tage vor der Stunde heruntergeladen werden. Lassen Sie die SuS die App „Columbus Eye“ einige Tage vor der geplanten Stunde herunterladen. Hierzu kann der Link verschickt, der QR-Code ausgeteilt, oder beim Play / App Store in die Suchleiste einfach „Columbus Eye“ eingegeben werden. Der eigentliche Download sollte, um niemandes Datenvolumen zu belasten, von den SuS im heimischen WLAN durchgeführt werden, sofern es kein (zuverlässiges) Schul-W-Lan gibt. Die App ist kostenlos und hat minimale Rechteanforderungen, funktioniert jedoch nicht auf allen Smartphone-Typen, was mit den Betriebssystemen und deren Versionen zusammenhängt. Dies stellt jedoch kein Problem dar. Solange jede Kleingruppe in der späteren Bearbeitung des Arbeitsblattes über ein Gerät mit funktionierender „Columbus Eye“-App verfügt, können die Aufgaben problemlos durchgeführt werden.

Die Erd-Abbildung wird für ihre Marker-Funktion in einer sehr guten Druckqualität benötigt, am besten in Farbe, nicht glänzend, dafür jedoch nur wenige Male. Je nach Klassenraumgröße reichen 2-4 Ausdrücke, die in Abständen von mindestens 2 Metern an die Wand gehängt werden können. Um ein gutes Funktionieren der App zu gewährleisten, sollten die Ausdrücke nicht geknickt oder gerollt werden.

Je nach Kenntnisstand der Klasse können einzelne Aufgaben als optionale Zusatzaufgaben definiert und mehr oder weniger Hilfestellung mit den Lösungen und Hintergrundinformationen gegeben werden.

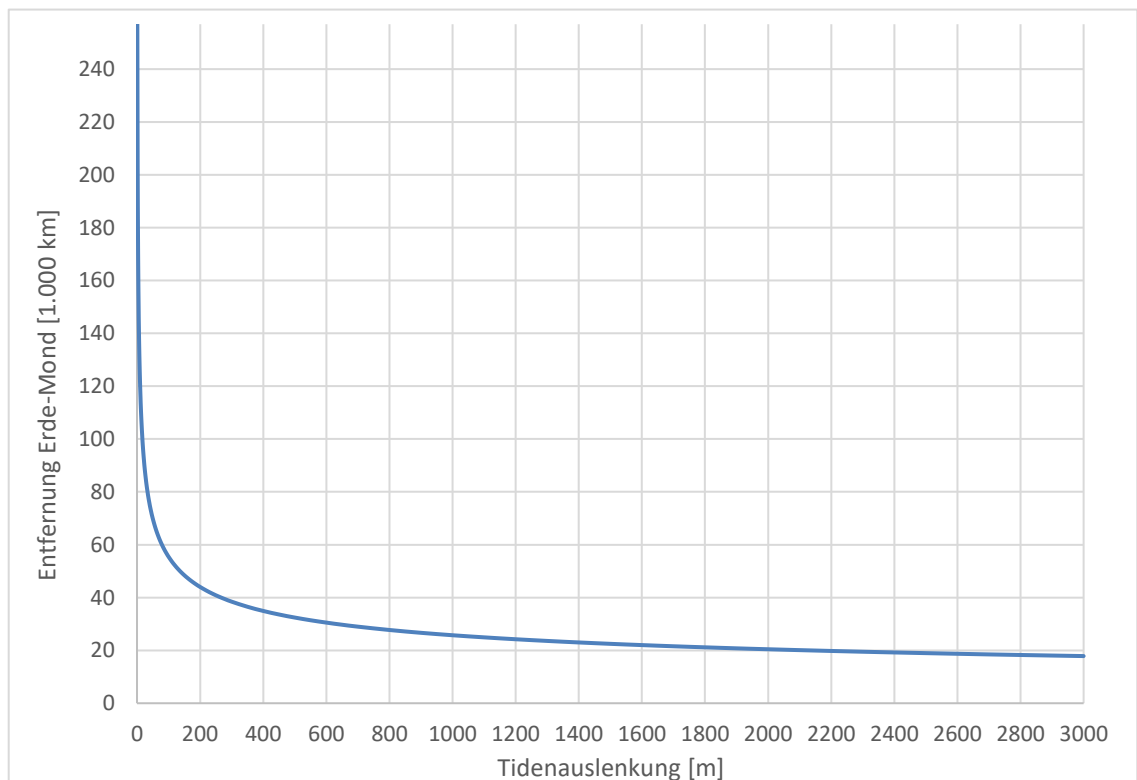
**Phase 1:** Die Erd-Abbildung sollte in einem gut beleuchteten Raum oder auch draußen aufgehängt werden. Die SuS brauchen mehrere Meter Platz nach hinten. Dann können pro Abbildung problemlos zwei SuS mit der App arbeiten. Die Aufgaben 1 und 2 lassen sich mit der App am besten in Kleingruppen ausführen, damit auch in jeder Kleingruppe ein Smartphone mit funktionierender App vorhanden ist, können jedoch auch als Hausaufgabe aufgegeben werden.

**Phase 2:** Die Rechenaufgaben in Aufgabe 3 und die Lese- und Diskussionsaufgabe in Aufgabe 4 lassen sich am besten in Einzelarbeit durchführen, können jedoch auch als Hausaufgabe aufgegeben werden.

**Phase 3:** Für Aufgabe 5 und 6a sollten erneut Kleingruppen gebildet werden, in denen jeweils mindestens ein Smartphone mit funktionierender App vorhanden ist. Die Berechnungen in 6b können in den gleichen Kleingruppen durchgeführt werden, um eine Diskussion und evtl. Aufteilung der Rechenarbeit zu erlauben.

## Musterlösungen

1. Die Erde erscheint als 3D-Modell.
  - a. Bei normalem A4-Druck ist  $1\text{m} = 100.000\text{ km}$ , bzw.  $1:100.000.000$ . Bei kleinerer oder größerer Druckweise oder Projektion verändert sich dieser entsprechend.
  - b. Der Mond kommt der Erde so nahe, dass die Differenz zwischen den Gravitationskräften auf der Innen- und Außenseite größer sind als die Gravitationskräfte, die den Mond zusammenhalten, und so den Mond zerreißen. Die Grenze, an der die Gravitationskräfte einen Mond auseinanderreißen, wird als Roche-Grenze bezeichnet. Nach den Keplerschen Gesetzen bewegt sich der zum Planeten gerichtete Teil des Mondes dann schneller, als der äußere. So würden Ringe erzeugt, wie auch Saturn sie hat. Der Mars-Mond Phobos nähert sich sehr langsam immer weiter seinem Planeten an und wird in ca. 70 Mio. Jahren zu einem Ring zerrissen. Über die Ringe des Saturns wird vermutet, dass es sich teilweise um bereits von der Schwerkraft zerrissene Monde handelt und hier ein Kreislauf aus Zusammenballen und Zerreißen von Monden stattfindet.
2. In weiter Ferne ändert sich nicht viel, aber je näher man mit dem Mond im Smartphone an die Erd-Abbildung kommt, desto rascher sind die Veränderungen im Tidenhub.
  - a. Graph:



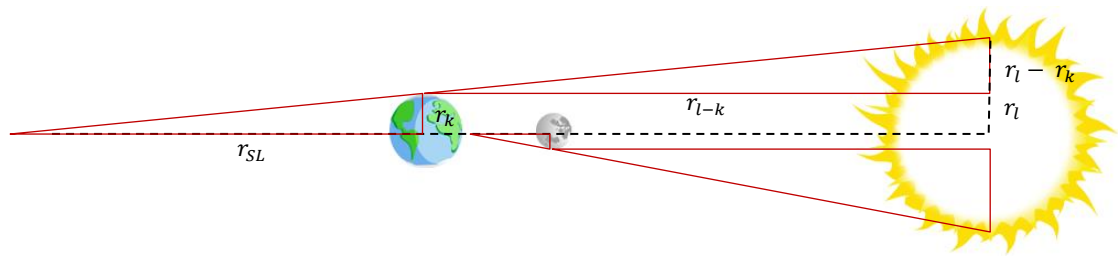
**Abbildung 1:** Abhängigkeit der Tidenauslenkung von der Mondentfernung (Eigene Darstellung).

Die Gezeitenkraft auf der Erde ist abhängig von der Masse des Mondes, der Gravitationskonstante, der Entfernung zwischen Erde und Mond und dem Radius der Erde. Für den tatsächlichen Tidenhub kommen lokale Verhältnisse hinzu, wie die Meerestiefe und großräumige Küstenformen, die den Fluss des Meereswassers umleiten.

- b. Auf dem Mond kommt es immer wieder zu kleinen Beben, da sich die Kruste zur Erde hin anhebt. Auf der Erde passiert das gleiche, doch der Effekt fällt im Vergleich zum Wasserspiegelanstieg gering aus. Auf Monden um andere Planeten, wie bspw. um Jupiter herum, wirkt die Anziehungskraft des Planeten so stark, dass sich die Monde verformen. Dies führt zu Vulkanismus und Tektonik (Io) bis hin zum Schmelzen von Eispanzern durch die Verformungsreibung (Europa).
  3. Baryzentrum:
    - a.  $r_{E-Min} = 4.331 \text{ km}$ ;  $r_{E-Max} = 4.943 \text{ km}$  vom Erdmittelpunkt aus bzw.  $r_{M-Min} = 352.078 \text{ km}$ ;  $r_{M-Max} = 401.797 \text{ km}$  vom Mondmittelpunkt aus.
    - b. Formel nach  $r$  auflösen:  $r = r_E \cdot \frac{m_E + m_M}{m_M}$  ergibt  $r = 524.884 \text{ km}$
    - c. Ca. 3,1 bzw. 4,4 Mrd. Jahre. Als Beispiel im Sonnensystem: Pluto und Charon kreisen um einen gemeinsamen Schwerpunkt, 2.360 km vom Pluto-Mittelpunkt bzw. 1.200 km von der Pluto-Oberfläche entfernt. Auch das Baryzentrum von Sonne und Jupiter, der 70% der Masse des Sonnensystems (ohne die Sonne) enthält, liegt außerhalb der Sonne. Aus der Kombination der Gravitation aller Körper im Sonnensystem ergibt sich ebenfalls ein Baryzentrum.
    - d. Sterne, die periodisch schwanken, tun dies u.a., weil sie von einem schweren Planeten umkreist werden und sie sich um das gemeinsame Baryzentrum drehen. Anfangs wurden mit dieser Methode nur Planeten gefunden, die größer und schwerer sind, als Jupiter, d auch schwere Gesteinsplaneten in anderen Sternensystemen mit der Methode gefunden worden.
  4. Entstehung des Systems (Diese Szenarien erheben keinerlei Anspruch auf Vollständigkeit – die SuS finden sicherlich noch mehr Punkte):
    - a. Extreme Gezeiten, die auch den noch flüssigen Gesteinsmantel bewegen, erschweren die Bildung fester Gesteinsplatten. Der Mond dreht sich in weniger als 24h um die junge Erde, die sich selbst ebenfalls schneller dreht, und wirkt mehr als 10mal so groß und erheblich heller als heute. Auf der Tagseite in niedrigen Breiten der Erde wird die Sonne mehrere Stunden pro Tag verdeckt, umgekehrt wird die Nachtseite abends und morgens stark erhellt und bei (nahezu) Vollmond befindet sich dieser nachts immer im Erdschatten.
    - b. Die Gezeiten fallen ein wenig geringer aus; durch die kubische Abhängigkeit vom Abstand muss der Abstand für einen deutlichen Unterschied sehr stark zunehmen. Viele Organismen, die von den Gezeiten abhängig sind, bsp. Fauna und Flora im Wattenmeer, müssten sich umstellen oder würden eingehen. Gezeitenkraftwerke würden wirkungslos. Sonnenfinsternisse würden seltener und nur noch ringförmig stattfinden, Mondfinsternisse ebenfalls seltener.
  5. In der Atmosphäre wird der Mond wie in einer Linse vergrößert, weshalb er beim Auf- und Untergehen vom Boden aus besonders riesig wirkt. Die ISS fliegt rund 400 km über der Erdoberfläche und damit weit genug außerhalb der Atmosphäre, um den Mond in seiner tatsächlichen Größe zu sehen. Zudem hat das menschliche Gehirn für den Mond am Himmel keinen Größenvergleich und lässt ihn daher in der Wahrnehmung noch einmal weit größer erscheinen, als er eigentlich sein sollte. Für die Kameras zählt dagegen der tatsächliche Abstand, weshalb Kamera-Aufnahmen des Mondes ohne Linsen-Tricks immer winzig aussehen.

## 6. Mond- und Sonnenfinsternis:

- a. Eine Sonnenfinsternis zu erzeugen, ist gar nicht so einfach. Jenseits von ca. 200.000 km wird es besonders schwierig, den Mondschatten überhaupt noch zu erkennen (über der Sahara klappt es noch am besten). Dies ist gewollt, um die Seltenheit von Sonnenfinsternissen und ihre schmalen Schatten zu erklären.
- b. Da die Sonne mit ihrem Durchmesser von 1.391.000 km ihr Licht rundum abstrahlt, entstehen kegelförmige Schatten von Erde und Mond. Da das Verhältnis von Sonnenradius minus Erdradius zur Entfernung Sonne-Erde das gleiche ist wie das des Erdradius' zum Erdschatten (bzw. das gleiche mit Sonne und Mond gilt), ergibt sich für die Schattenlänge  $r_{SL}$  folgende Formel:



**Abbildung 2:** Verhältnisse von Lichtausstrahlung und Schattenwurf zwischen Sonne und Erde bzw. Sonne und Mond. (Quelle: Eigene Darstellung)

$$r_{SL} = r_k \cdot \frac{r_{l-k}}{r_l - r_k}$$

mit:

$r_{SL}$ : Länge des Schattens

$r_k$ : Radius des schattenwerfenden Körpers

$r_l$ : Radius des lichtausstrahlenden Körpers

$r_{l-k}$ : Abstand zwischen dem lichtausstrahlenden Körper und dem schattenwerfenden Körper

- c. Daraus ergibt sich:

	Bei minimalem Sonnenabstand	Bei maximalem Sonnenabstand
<b>Länge des Erdschattens*</b>	1.360.000 km	1.406.000 km
<b>Länge des Mondschattens bei Neumond*</b>	367.000 km	380.000 km

\*gerundet auf 1.000 km

Der Mondschatten ist länger, als der minimale Abstand zwischen Erde und Mond, aber deutlich kürzer als der maximale Abstand. Daraus ergibt sich, dass der Mondschatten bei Neumond nicht bei jedem Orbit bis auf die Erde trifft und je nach Position der drei Körper oft nur eine ringförmige Sonnenfinsternis entstehen kann. Eine Neigung von 5° des Mondorbits entspricht bei minimaler Monddistanz einer Abweichung von 31.063 km. Bei einem Erddurchmesser von 12.742 km kann der Mondschatten die Erde deutlich verfehlen.

Über die Formel

$$r_S = \frac{r_E \cdot (r_{ES} - r_{E-M})}{r_{ES}}$$

lassen sich die Radien des Erdschattens bei verschiedenen Sonnen- und Mondabständen berechnen. Der höchste Wert entsteht beim Einsatz des maximalen Abstands zwischen Sonne und Erde und minimalen Abstands zwischen Erde und Mond: 4.765 km. Der niedrigste Wert kommt umgekehrt bei minimalem Abstand zwischen Sonne und Erde sowie maximalem Abstand zwischen Erde und Mond zustande: 4.701 km. Durch den geneigten Orbit des Mondes kann dieser also deutlich nördlich oder südlich des Erdschattens vorbeiziehen.