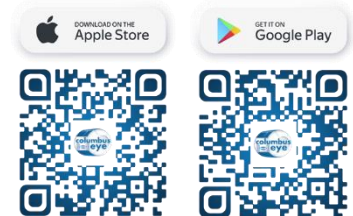


Unterrichtsmaterial 3 (SuS):

Wie wirken Gezeitenkräfte auf Erde und Mond? Damals, heute und in Zukunft.

Warum ist der Mond so wichtig für das (menschliche) Leben auf der Erde?

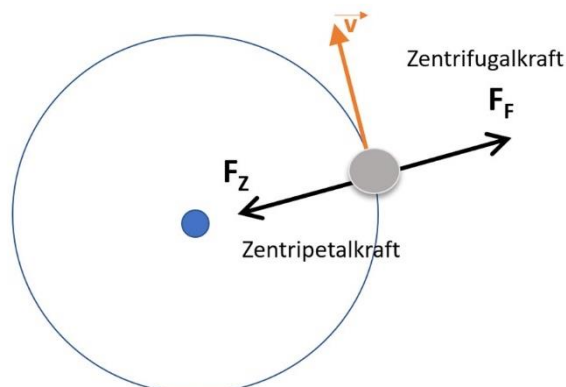
Einbindung der Karteninhalte ebenfalls in der Augmented Reality App „ColumbusEye“, um diese einzusehen und interaktiv zu nutzen.



„Die Ursache der Gezeiten ist eine astronomische, die Reaktion der Meere darauf hingegen ist eine geographische.“ – Wolfgang Glebe: Ebbe und Flut – Das Naturphänomen der Gezeiten einfach erklärt

Definitionen:

- Die **Zentrifugalkraft (F_F)** oder auch Fliehkraft ist eine Trägheitskraft die auf Körper in rotierenden Bezugssystemen wirkt, die stets senkrecht zur Drehachse nach außen gerichtet ist.
- Die **Zentripetalkraft (F_Z)** ist eine Kreisbewegung hervorrufoende, zum Mittelpunkt gerichtete Kraft. Sie ist eine Zwangskraft, denn ohne sie würde ein Körper die Kreisbahn (z.B. an einem Faden) verlassen.



Liebe Marie,

ich bin jetzt für zwei Wochen an der Nordsee. Die Autofahrt war zwar total anstrengend, aber nun sind wir endlich da und es lohnt sich. Es ist so wunderschön hier und wir haben perfektes Wetter, um schwimmen zu gehen. Was meinst Du, wie sehr ich mich geärgert habe, als ich voller Vorfreude zum Strand marschiert bin und das Wasser auf einmal weg war?! Also klar, es gibt Ebbe und Flut, aber irgendwie habe ich in dem Moment gar nicht daran gedacht.

Ich habe mich dann gefragt, wie eigentlich Ebbe und Flut zustande kommen und im Internet nachgeschaut. Die Erscheinung von Ebbe und Flut war anscheinend bis in die Neuzeit ein großes Rätsel und oft Anlass zur Bildung von Mythen und bizarren Spekulationen. Viele bedeutende Gelehrte des Abendlandes haben sich schon mit der Frage beschäftigt. Darunter z.B. *Galileo Galilei*, *Simon Stevin*, *René Descartes* und *Johannes Kepler*. Am Ende des 17. Jahrhunderts erfolgte erst die richtige Deutung durch *Isaac Newton* und noch ein weiteres Jahrhundert später entwickelte *Pierre Simon de Laplace* eine weitere Theorie, die noch genauer und komplexer war. Das sind nur ein paar wichtige Namen, die ich gefunden habe. Danach gab es immer noch Weiterentwicklungen und Überarbeitungen der klassischen Theorien. Auch heute kursieren noch verschiedene Erklärungen im Netz. Oft habe ich gelesen, dass diese falsch seien, weil sie zu sehr vereinfacht wurden und deshalb nicht mehr stimmen. Ich bin verwirrt!

Das Einzige, was ich mit Sicherheit weiß: die Gezeiten haben etwas mit der Anziehung durch den Mond zu tun. Den einen Flutberg kann ich noch einigermaßen nachvollziehen, aber wieso gibt es auch einen auf der gegenüberliegenden Seite der Erde, also auf der Seite, die vom Mond abgewandt ist? Kannst Du mir damit weiterhelfen?

Schöne Urlaubsgrüße!

Deine Johanna



1. Brainstrome, wofür die Gezeiten wichtig sind warum sie beobachtet werden sollten?

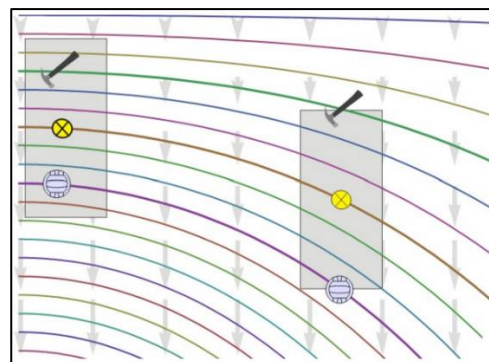
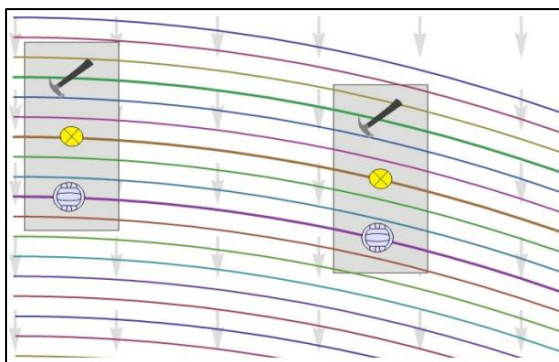
Halte die Überlegungen in einer Mind-Map fest. Nutze dazu auch das Erde-Mond-System in der App.

Tragt die Ergebnisse im Plenum zusammen.

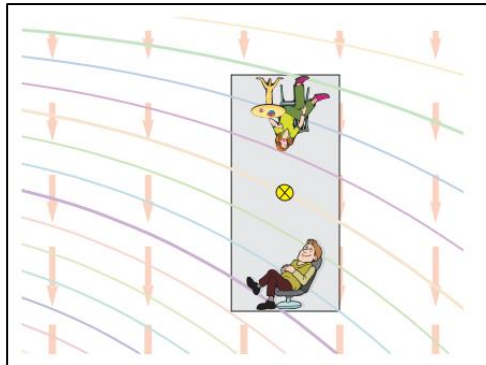
2. Homogenes vs. inhomogenes Gravitationsfeld

Vergleicht die Bilder und ergänzt sie mit Stichworten, die die Bilder erklären.

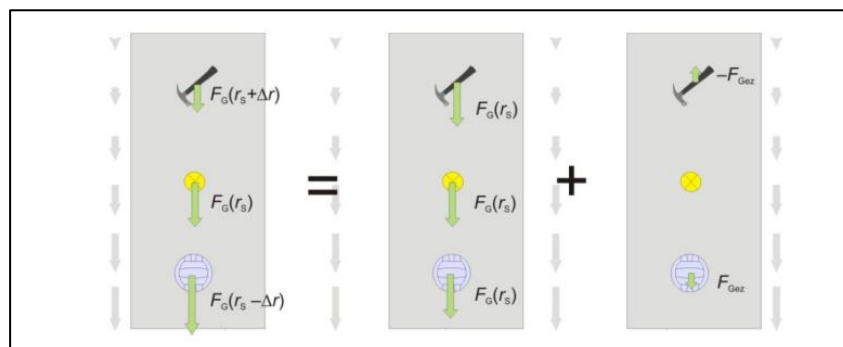
- Die beiden Abbildungen zeigen die beiden verschiedenen Formen des Gravitationsfeldes, die in Form eines Kastens mit Hammer und Volleyball, sowie dem bestehenden Schwerpunkt dargestellt werden.
- Bei einem freien Fall im homogenen Gravitationsfeld, besteht im dargestellten Kasten Schwerelosigkeit und $Masse = 0$
- Diese Relativbeschleunigung von Körpern im inhomogenen Gravitationsfeld nennt man Gezeitenbeschleunigung. Sie lässt sich als Abweichung von der Schwerelosigkeit erklären.
- Differenz zwischen dem inhomogenen und homogenen Gravitationsfeld führt zur Relativbeschleunigung der Körper
- Stichworte könnten z.B. sein: Schwerkraft, Schwerelosigkeit, (in)homogenes Gravitationsfeld, freier Fall, Wurfparabeln



2.1. Bestimmt, an welchen Orten in der Abbildung künstliche Gravitation wirkt.



Der im inhomogenen Gravitationsfeld fallende Kasten ist das einfachste Beispiel für das Auftreten von Gezeitenkräften. Alles Wesentliche zeigt sich hier schon: die Tatsache, dass die Inhomogenität des Gravitationsfeldes dafür verantwortlich ist, dass man auf diese Weise künstliche Gravitation erzeugen kann und dass die Gezeitenkräfte auf beiden Seiten nach außen wirken (zwei Flutberge). Charakteristisch ist die Abstandsabhängigkeit der Gezeitenkraft, die mit der dritten Potenz des Abstands abfällt (und damit viel stärker als die Gravitationskraft). Das erklärt, warum die Gezeitenkräfte der Sonne auf der Erde geringer sind als die des Mondes, obwohl die Gravitationskraft der Sonne 178mal größer ist.



- Links: inhomogenes Gravitationsfeld
- Mitte: homogenes Gravitationsfeld
- Rechts: Gezeitenbeschleunigung

In einem inhomogenen Gravitationsfeld wirken auf einen ausgedehnten Körper an verschiedenen Orten unterschiedliche Gravitationskräfte. Nur im Schwerpunkt des frei fallenden Körpers herrscht Schwerelosigkeit. Das Auftreten der Gezeiten wird dadurch erklärt, dass der starre Körper Erde nur eine Beschleunigung gegen den Mond annehmen kann, während die beweglichen Wasserteile auf der Erde je nach ihrer Lage verschiedene Beschleunigungen erfahren.

Tragt die Ergebnisse im Plenum zusammen.

2.2. Berechne die Lage des gemeinsamen Schwerpunkts von Erde und Mond.

Der Mond fällt auf diese Weise ständig auf die Erde zu. Wegen der Gültigkeit des 3. Newtonschen Axioms fällt aber auch die Erde in analoger Weise auf den Mond zu. Beide zusammen fallen in Richtung auf ihren gemeinsamen Schwerpunkt, der innerhalb der Erde liegt. Die Größe der beiden Schwerebeschleunigungen ist umgekehrt proportional dem Verhältnis der Massen von Erde und Mond.

0

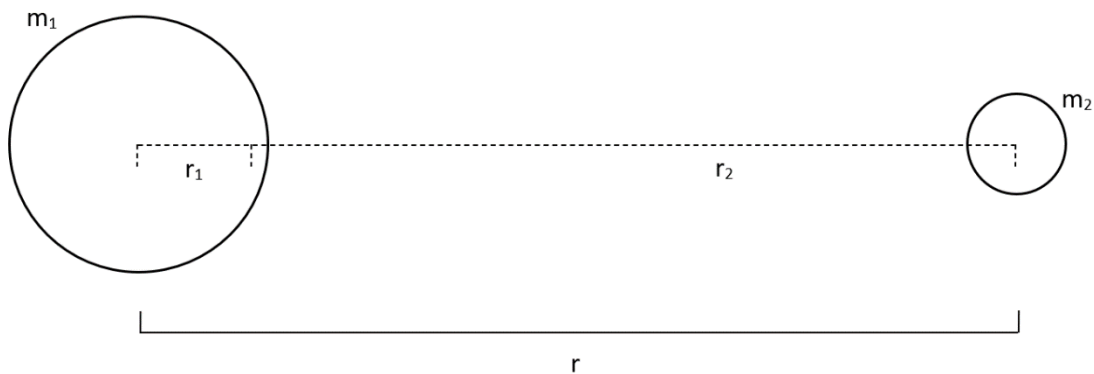


Abbildung nicht maßstabsgetreu

$r = 384.000 \text{ km}$ (durchschnittlicher Abstand zwischen Erde und Mond)

$m_1 = 5,972 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ (Masse der Erde)

$m_2 = 7,349 \cdot 10^{22} \text{ kg}$ (Masse des Mondes)

$$r = r_1 + r_2$$

$$r_2 = r - r_1$$

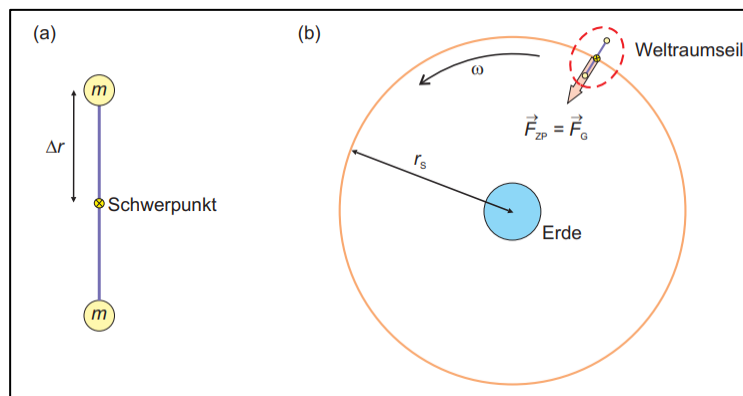
$$m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot r_2$$

$$m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot (r - r_1)$$

Tragt die Ergebnisse im Plenum zusammen.

3. Weltraumseile und gebundene Rotation

- Was ist ein Weltraumseil und wofür nutzt man Weltraumseile?
 - Zwei punktförmig gedachte Kapseln der Masse m , verbunden durch ein masseloses, starres Seil. Der Schwerpunkt der Anordnung liegt in der Mitte des Seils, jeweils im Abstand Δr zu den beiden Kapseln. Die Länge des Seils beträgt somit $2\Delta r$ (s. Abb.)
 - Den Zusammenhang zwischen Umlaufgeschwindigkeit und Radius der Kreisbahn gewinnt man wie üblich durch die Bedingung „Zentripetalkraft = Gravitationskraft“. Es ergibt sich das dritte Keplersche Gesetz
 - Das Weltraumseil läuft mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω um die Erde. Weil die obere Kapsel eine größere Entfernung von der Erde besitzt als der Schwerpunkt, ist die Gravitationskraft hier schwächer. Sie ist geringer als die Zentripetalkraft, die für eine Bewegung mit der Winkelgeschwindigkeit ω erforderlich ist. Das Seil verhindert das Auseinanderdriften, wäre es elastisch, dann würde es sich aufgrund der Seilkraft dehnen

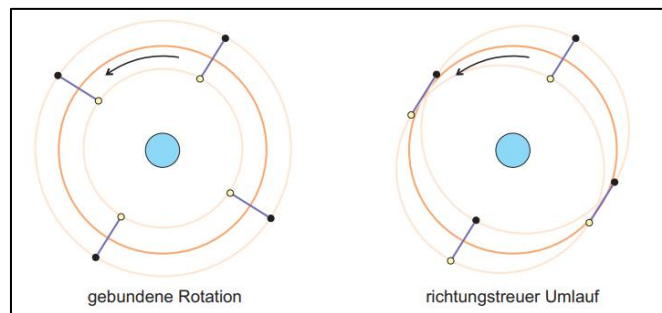


- Die Seilkraft ist nach innen gerichtet. Sie hindert die obere Kapsel daran, ihren Abstand zum Schwerpunkt zu vergrößern. Schneidet man das Seil durch, driften die beiden Kapseln auseinander. **Das Seil hat die Aufgabe, dieses Auseinanderdriften zu verhindern**
- Wenn das Seil nicht starr ist, sondern ein wenig elastisch, dann dehnt es sich unter dem Einfluss dieser Kräfte. Analoges passiert mit dem Gestein. Durch die Wirkung der Gezeitenkräfte werden Spannungen im Gestein aufgebaut. Es verformt sich elastisch, die Oberfläche hebt sich. Langfristig verformt sich das Gestein, es beginnt zu „fließen“.

3.1. Stell dir vor, dass du Passagier*in in so einer Kapsel bist und einen Gegenstand in der Hand hältst. Überlege, was passiert, wenn du den Gegenstand loslässt. Benenne die Funktion, die du erfüllst, wenn du den Gegenstand festhältst und die Situation auf das eben genannte Beispiel überträgst.

3.2. Gezeitenkräfte und gebundene Rotation: Analysiere, was die Zentripetalkraft damit zu tun hat und was den Mond auf seiner Bahn hält. → Bsp. Hammerwerfer*in – Berate dich in Partnerarbeit

- Das angesprochene Weltraumseil läuft in gebundener Rotation um die Erde, genauso wie der Mond
- Die äußere Kapsel (schwarz) läuft in einem größeren Abstand um die Erde als der Schwerpunkt
 - daher muss auf sie eine größere Zentripetalkraft wirken und diese trägt zur Seilspannung bei. Die Gebundene Rotation ist eine stabile Bewegungsform für das Weltraumseil



- Gebundene Rotation = richtungstreuer Umlauf + Rotation um den eigenen Schwerpunkt. Bei der gebundenen Rotation hat das Seil nach einem halben Umlauf seine Orientierung im Raum um 180° geändert (die schwarze Kapsel ist jetzt links unten). Nach einem ganzen Umlauf ist es einmal um seinen Schwerpunkt rotiert
 - Nur 2/3 der Seilkraft sind auf die Gezeitenkräfte zurückzuführen. Das restliche Drittel wird durch die Zentripetalkraft verursacht, die mit der Rotation des Seils um seinen Schwerpunkt einhergeht. Sie spannt das Seil ebenfalls. Dieser Anteil ist jedoch keine Gezeitenkraft im Sinne unserer Definition. Anders ausgedrückt: **Die künstliche Gravitation in den Kapseln wird nicht nur durch Gezeitenkräfte hervorgerufen, sondern zu einem Drittel auch durch die Zentripetalkraft der Rotationsbewegung.**

Tragt die Ergebnisse im Plenum zusammen.

3.3. Aufgabe:

In einem 50 km langen Seil, das in 400 km Höhe (entspricht der Höhe der ISS) um die Erde läuft, wird in der beschriebenen Weise künstliche Gravitation erzeugt. Berechne mit der Seilkraft in den Endkapseln die „Gravitationsbeschleunigung“ in den Kapseln im Vergleich zur Erdbeschleunigung g .

$$F_{Seil} = 3 G m m_E * \frac{\Delta r * 10^3}{(r_s * 10^3)^3}$$

$$\alpha_{Gez} = \frac{F_{Seil}}{m} = 3 G m_E * \frac{\Delta r}{r_s^3}$$

$$G \text{ (Gravitationskonstante)} = 6,67 * 10^{-11} \frac{m^3}{kg * s^2}$$

$$r_{Erde} = 6370 \text{ km}$$

$$\Delta r = \text{halbe Seillänge}$$

$$m_E = 5,97 * 10^{24} \text{ kg}$$

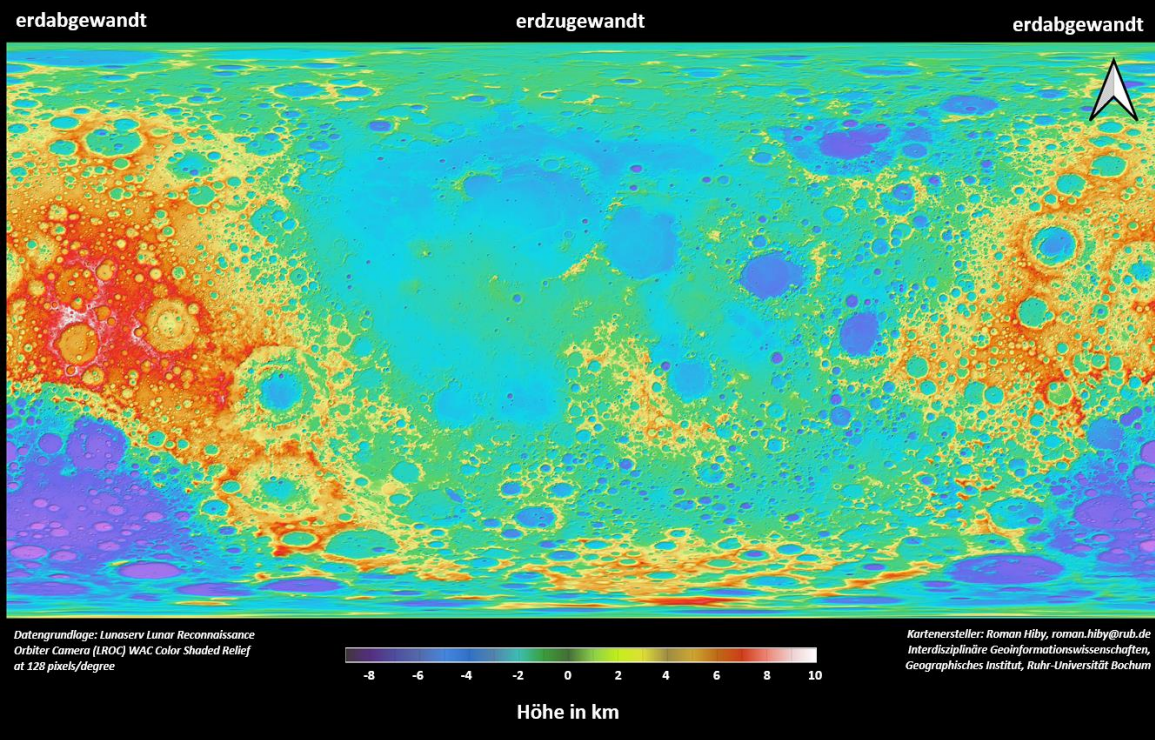
Tragt die Ergebnisse im Plenum zusammen.

3.4. Schaue dir die folgenden Karten zum globalen Relief und zur globalen Krustendicke auf dem Mond genau an und interpretiere, wie die Höhenunterschiede und die Unterschiede der Krustendicke speziell im Vergleich zwischen erd zugewandter und erd abgewandter Seite des Mondes zustande kommen konnten. Du kannst dir die Karten auch in der App in 3D anschauen.

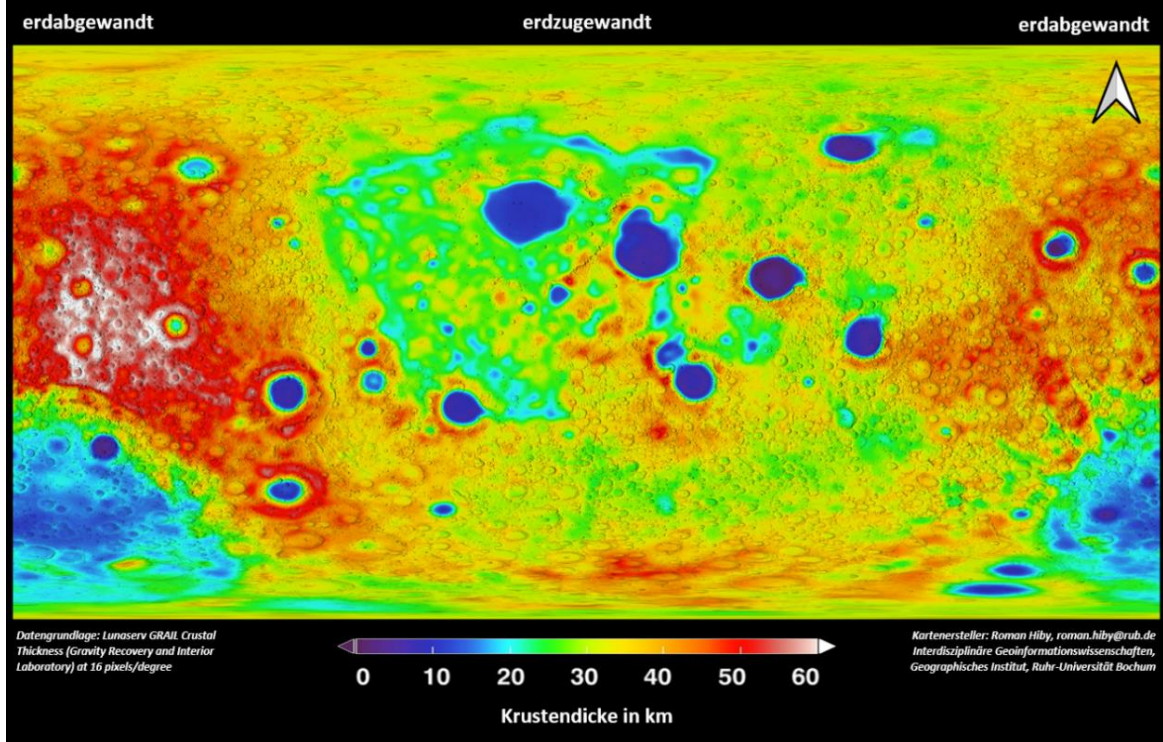


Im frühen Stadium der Entwicklung des Mondes, war die Entfernung des Mondes zur Erde noch sehr viel geringer und dementsprechend hat die Erde sehr viel mehr Energie auf den Mond ausgeübt. Dieser war durch die Hitze komplett von Lava umgeben. Der Mond befand sich durch den Einfluss der Erde schnell in der gebundenen Rotation, wie sie heute ebenfalls noch gegeben ist.

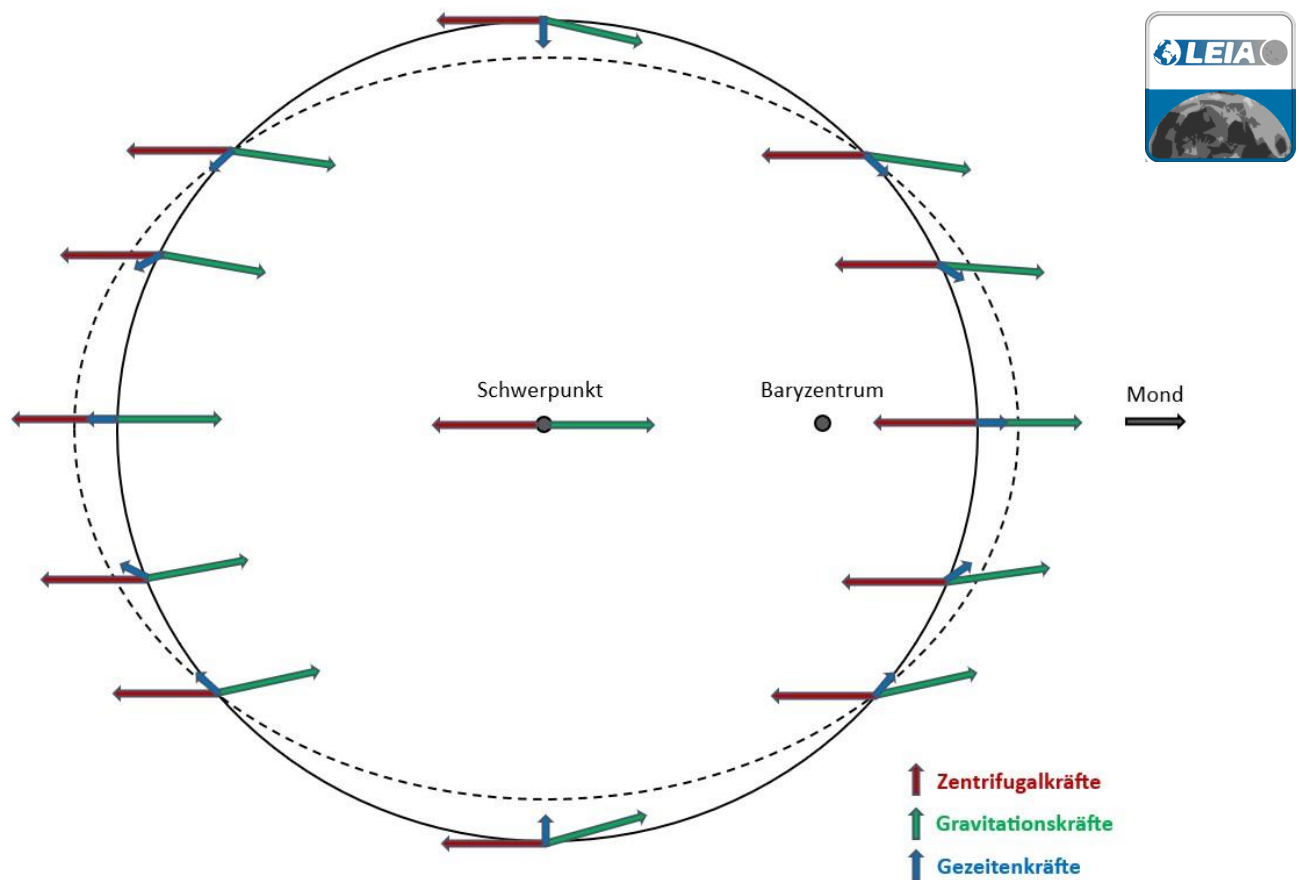
Globale Reliefkarte des Mondes



Karte zur globalen Krustendicke auf dem Mond



3.5. Interpretiere, warum im Mittel alle 12:25 Std Hochwasser oder Niedrigwasser auftritt?
Schaue dir zu den Gezeiten auch das Erde-Mond-System in der App an.



- Die Abbildung zeigt die Auswirkungen der Gezeitenkraft auf der Erde. Die Erde rotiert täglich um ihre eigene Achse. Die mondzugewandte und die mondabgewandte Seite zeigen Hochwasser auf, während die jeweiligen 90° Positionen Niedrigwasser aufzeigen.

Flut herrscht in diesem System auf der Erde an der mondzugewandten und der mondabgewandten Seite gleichermaßen. Grund dafür ist die Gravitationskraft, die der Mond auf die Erde ausübt. Die Gravitationskraft des Mondes herrscht durch die unterschiedlichen Abstände zum Mond auf der mondzugewandten Seite stärker als auf der mondabgewandten Seite. Wenn man annimmt, dass die Erde ein starrer bzw. fester Körper ist, so ist die Gravitationsbeschleunigung für die Erde an allen Punkten gleich groß. Nämlich genauso groß wie der Vektor im Schwerpunkt (Erdmittelpunkt).

Tragt die Ergebnisse im Plenum zusammen.

3.6. Analysiere, ob auf den Mond auch Gezeitenkräfte wirken und inwiefern sie sich äußern.

3.7. Rochesche Stabilitätsgrenze:

Stelle dir vor, der Mond würde sich in Richtung Erde bewegen und bestimme, wie nah sich der Mond der Erde annähern müsste, um durch die Gezeitenkräfte zerrissen zu werden. Nutze dazu auch das Erde-Mond-System in der App.

- Die Größe der Gezeitenkraft hängt vom Abstand der betroffenen Körper oder Objekte ab
- Wenn sich ein Himmelskörper einem anderen, dessen Masse größer ist, nähert, würde die Gezeitenkraft aufgrund ihrer Abhängigkeit mit der dritten Potenz des Abstands rasch zunehmen und deshalb versuchen den leichteren Himmelskörper auseinanderzureißen.
- Die Berechnung erfolgt einerseits für starre Himmelskörper und andererseits für flüssige Himmelskörper
 - Die wahre Roche-Grenze liegt meist zwischen diesen Werten, ist allerdings schwierig zu bestimmen, da weitere Faktoren wie die Verformbarkeit und die genaue Dichteverteilung mit einbezogen werden müssen.



d = Roche – Grenze

$$\rho_M = \text{Dichte des Hauptkörpers (Erde)} = 5,514 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_m = \text{Dichte des Nebenkörpers (Mond)} = 3,344 \text{ g/cm}^3$$

$$R = \text{Radius der Erde} = 6.370 \text{ km}$$

Für starre Körper gilt:

$$d = R * \sqrt[3]{\frac{2\rho_M}{\rho_m}}$$

Für flüssige Körper gilt:

$$d = 2,423 * R * \sqrt[3]{\frac{\rho_M}{\rho_m}}$$

- 3.8. Analysiere, welche Rolle der Mond und die Sonne bei der Entstehung der Gezeiten spielen und worin der Unterschied liegt. Informiere dich dazu auch in der App über die einzelnen Himmelskörper und deren Verhältnis zueinander.**



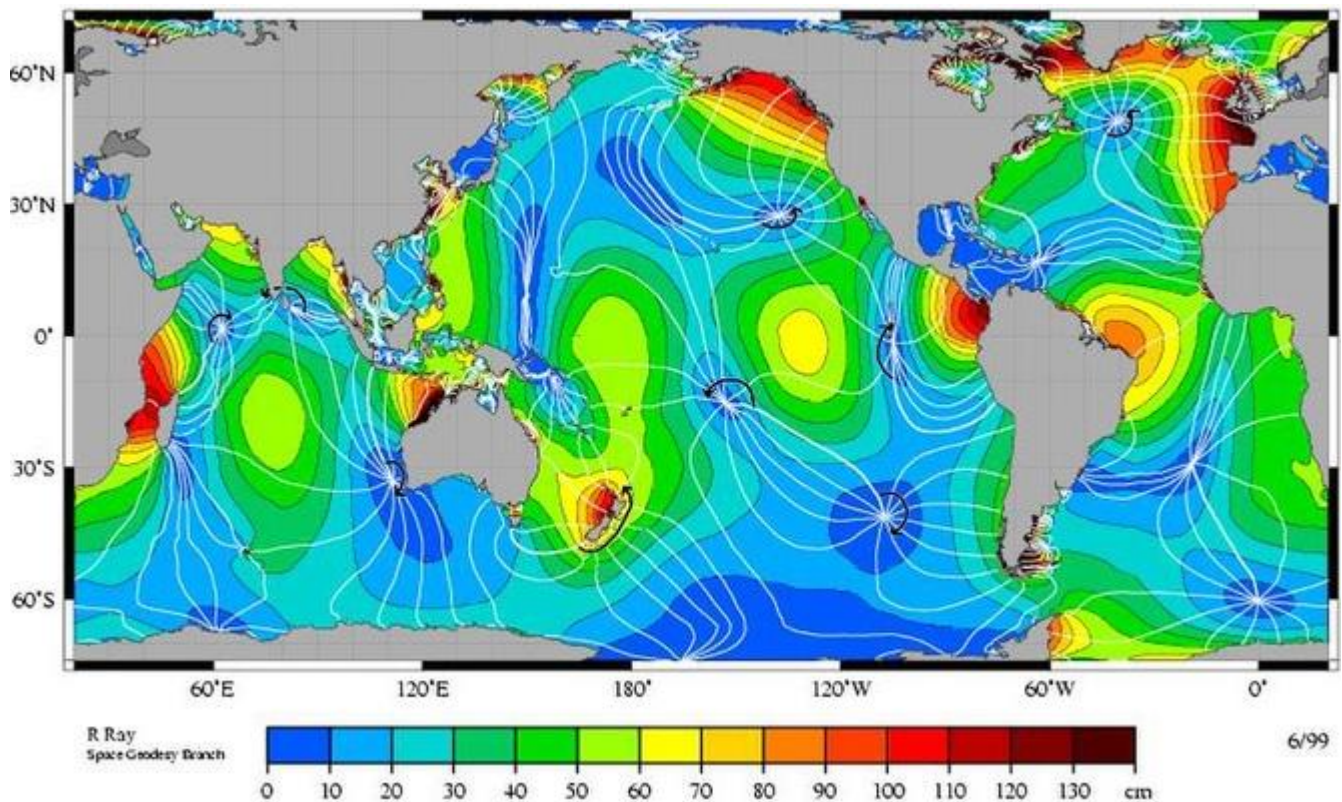
- 3.9. Erkläre, wann man von Spring- und Nipptide (starke und schwache Flut) spricht. Im Erde-Mond-System in der App kannst du dich darüber ebenfalls informieren.**



- 4. Erläutere nun zusammenfassend einem/einer Partner*in die Entstehung der Gezeiten. Verfasse danach eine Briefantwort an Johanna mit der Erklärung der Gezeiten.**

Tragt die Ergebnisse danach im Plenum zusammen.

5. **Zusatzaufgabe: Erkläre, welche geographischen Gegebenheiten die Stärke der Gezeiten auf der Erde beeinflussen und warum diese beispielsweise an bestimmten Orten stärker gegeben sind. Nutze dazu auch die beigelegte Karte.**



6. **Zusatzaufgabe: Überlege dir, wie sich das Leben auf der Erde ohne Mond darstellen würde und ob wir ohne den überhaupt Mond leben könnten.**

Dadurch, dass die Mondbahn bereits synchronisiert ist, wirken die Gezeitenkräfte auf den Mond so, dass sich der Mond durch den Bahndrehimpuls immer weiter von der Erde entfernt, um etwa 4 cm im Jahr. Da der Gesamtdrehimpuls des Erde-Mond-Systems eine Erhaltungsgröße darstellt, wird die Abnahme des Rotationsdrehimpulses der Erde durch die Zunahme des Bahndrehimpulses des Mondes ausgeglichen. Mond und Erde stabilisieren sich somit in ihrem System gegenseitig.