

Unterrichtsmaterial 1 (SuS):

Wie sind Erde und Mond geologisch zusammengesetzt und was hat dies für eine Aussagekraft zur Entstehung des Mondes?

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



Entstehungstheorien

Der Mond ist ein besonders einzigartiger Himmelskörper. Kein anderer Planet im Sonnensystem hat einen verhältnismäßig so großen Mond wie die Erde. Aber wie ist der Mond eigentlich entstanden? In den vergangenen Jahrzehnten haben Wissenschaftler*innen verschiedene Hypothesen zur Entstehung des Mondes entworfen. Aber welche davon ist am wahrscheinlichsten zutreffend? Schlüpfe in die Rolle des Wissenschaftlers / der Wissenschaftlerin und finde es heraus!

1. Die folgenden vier Entstehungstheorien sollen am Ende nach Wahrscheinlichkeit miteinander verglichen werden. Lies dir erst einmal die kurzen Infotexte durch.

1.1. Kollisionstheorie

Die Kollisionstheorie besagt, dass die Erde vor ca. 4,5 Mrd. Jahren von einem Protoplaneten, mit der etwa zwei- bis dreifachen Masse des Mars und einer geringeren Größe als die Erde, getroffen wurde. Der Protoplanet wurde dabei vollständig zerstört und die Einzelteile verschmolzen einerseits mit der Erde und formten andererseits über Jahre den Mond als Erdtrabanten.

1.2. Einfangtheorie

Die Einfangtheorie besagt, dass der Mond ein reisender Himmelskörper, wie ein Asteroid, gewesen sei und durch die Gravitationskraft der Erde in eine stabile Umlaufbahn gezogen wurde. Dies kann durch die sehr viel geringere Masse des Mondes im Vergleich zur Erde und einen optimalen Einfallswinkel sowie Geschwindigkeit erklärt werden.

1.3. Co-Formationstheorie

Die Co-Formationstheorie besagt, dass sich der Mond vor etwa 4,5 Mrd. Jahren zur gleichen Zeit wie die Erde im Sonnensystem gebildet hat und durch irdähnliche Prozesse wie Kollision und Akkretion (Zunahme/Anlagerung) entstanden ist.

1.4. Spaltungstheorie

Die Spaltungstheorie besagt, dass der Mond zur gleichen Zeit wie die Erde gebildet wurde, allerdings nicht durch Akkretion (Zunahme/Anlagerung), sondern durch eine rotierende Erde, die einen großen Materialklumpen in den Weltraum schleuderte, der sich dann in die Form und Umlaufbahn des Mondes entwickelte.

2. Erarbeite zunächst in Einzelarbeit die folgenden Aufgaben:

2.1. Betrachte die erdzugewandte Mondseite und die erdabgewandte Mondseite und vergleiche die Unterschiede. In der App findest du die Karten auch in 3D.



Der Mond und die Erde sind durch die Gravitationskräfte aneinandergebunden. Ihre Rotationen sind so synchronisiert, dass wir von der Erde aus immer nur eine Seite des Mondes sehen können. Die erdabgewandte Seite des Mondes sahen die Menschen erst als 1959 ein sowjetisches Raumschiff vorbeiflog. Die Mondoberfläche ist fest, felsig und durch äußere (exogene) Prozesse in Form von Meteoriten- oder Asteroidenimpakten geprägt.

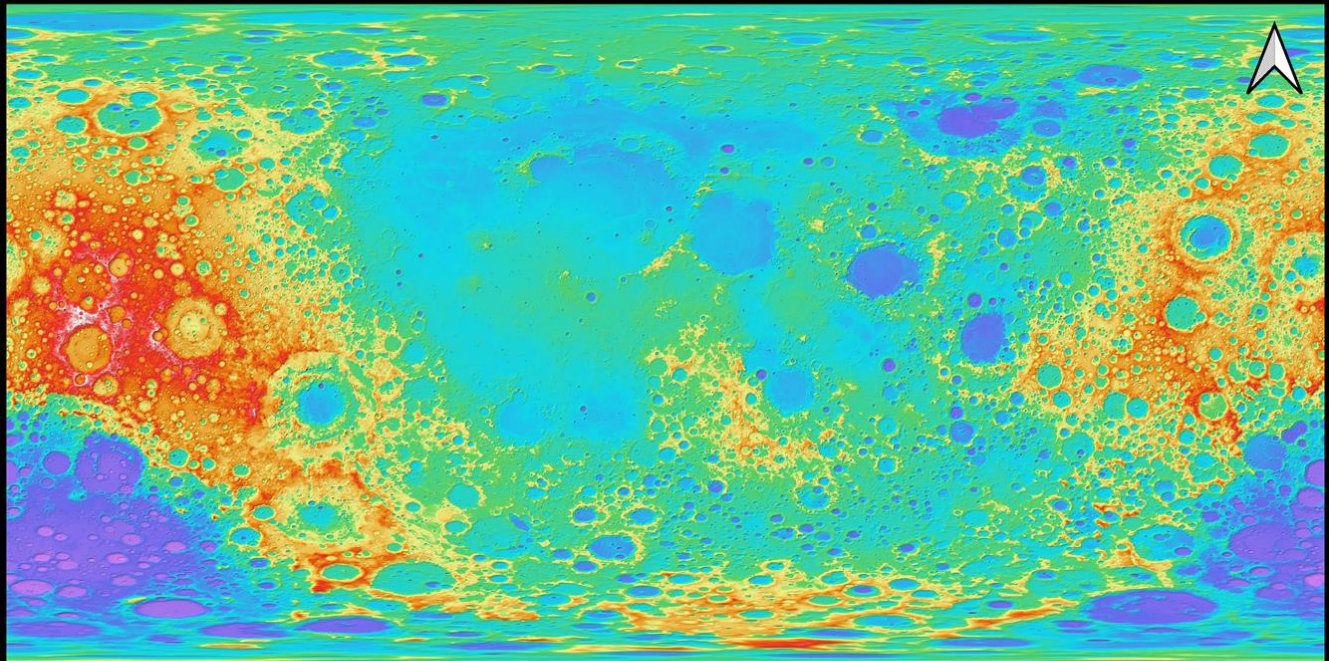
Mit Hilfe der Fernerkundung können die erdzugewandte sowie die erdabgewandte Mondseite global auf die verschiedensten Eigenschaften analysiert werden. Dies kann anhand von Karten eingesehen werden. Eine weitere Möglichkeit zur Visualisierung von Fernerkundungsdaten bietet die bereitgestellte Columbus Eye Augmented Reality App.

Globale Reliefkarte des Mondes

erdabgewandt

erdzugewandt

erdabgewandt



Datengrundlage: Lunaserv Lunar Reconnaissance
Orbiter Camera (LROC) WAC Color Shaded Relief
at 128 pixels/degree



Höhe in km

Kartenersteller: Roman Hiby, roman.hiby@rub.de
Interdisziplinäre Geoinformationswissenschaften,
Geographisches Institut, Ruhr-Universität Bochum

Die Erde erneuert ihre Oberfläche immer wieder selbst durch z.B. Plattentektonik (Subduktion) oder auch Verwitterung. Die Mondoberfläche hingegen kann die Entstehung dokumentieren. Im Gegensatz zur Erde verschwinden die Spuren und Narben auf dem Mond nämlich nicht.

Die Proben der Apollo-Missionen zeigen, dass im Durchschnitt das Mondgestein dem der Erde sehr ähnlich ist, es aber dennoch regionale Unterschiede gibt. Das Hochlandgestein ist dem Erdgestein sehr ähnlich, aber das vulkanische Glas, das aus dem Magmaozean stammt, weist einige Unterschiede auf.

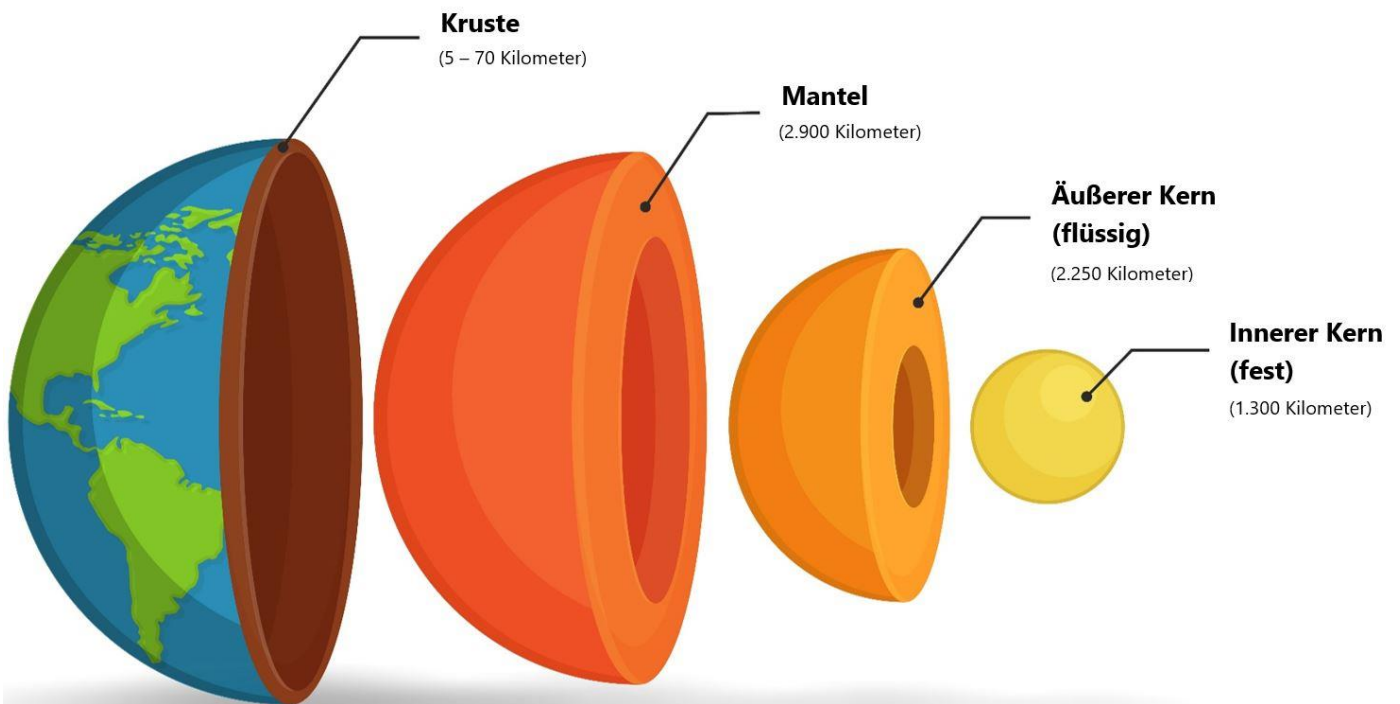
Die Fernerkundung liefert dabei ebenfalls globale fundamentale Erkenntnisse. Eine großräumige oder sogar globale Analyse von lunaren Gegebenheiten ist aus bodengestützten Daten auf dem Mond, schlichtweg durch die zu geringe Stichprobenzahl, nicht möglich. Deshalb sind die gegebenen Datenquellen in Form von Satelliten auf dem Mond von hoher Relevanz. Die Nutzung von lunaren Beobachtungssatelliten bietet zudem durch die nicht vorhandene Atmosphäre und damit ausbleibenden Wetterphänomenen sowie durch die geringere Gravitationskraft des Mondes sehr viel bessere Möglichkeiten als die Satellitenbeobachtung der Erde.

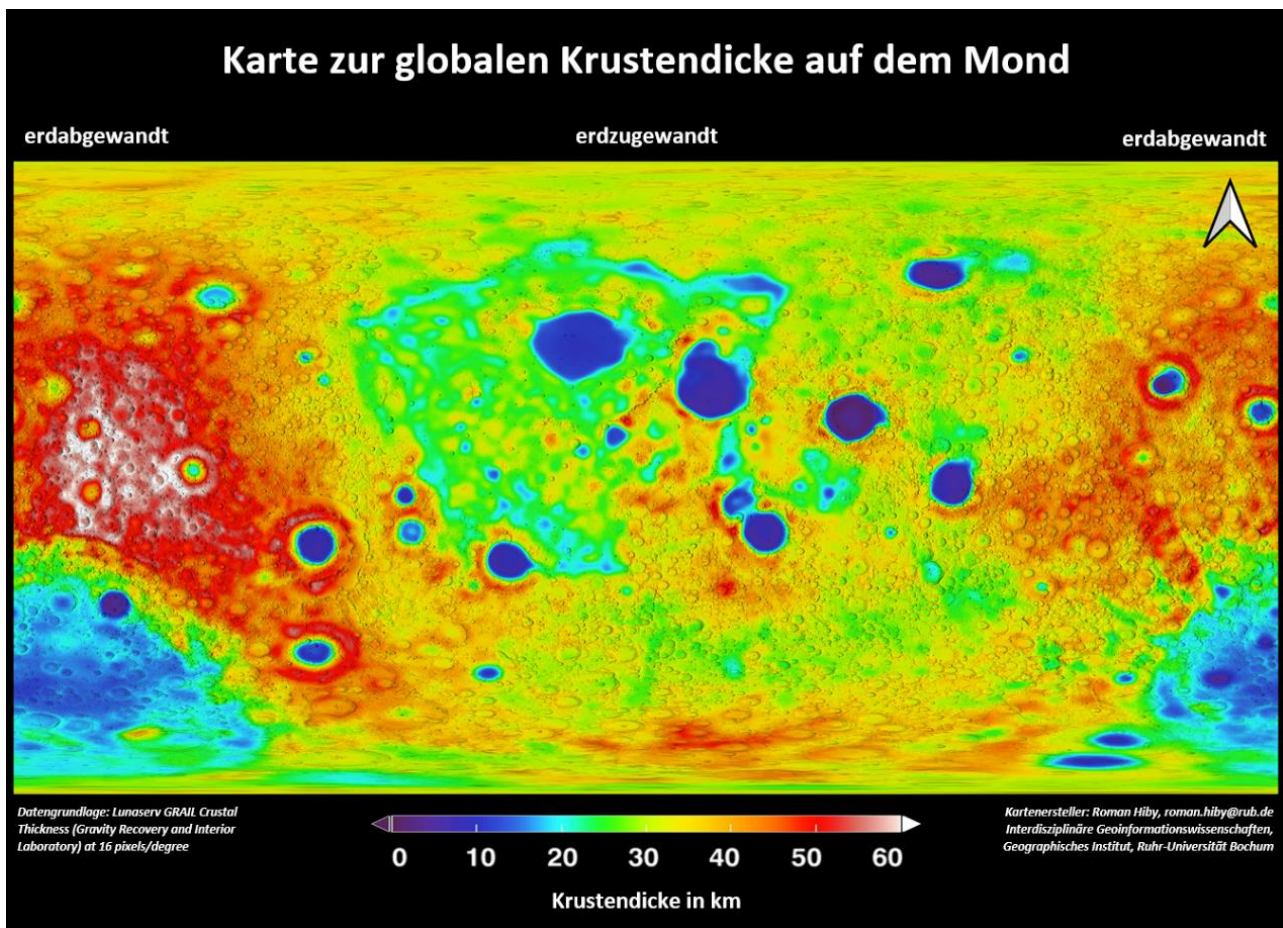
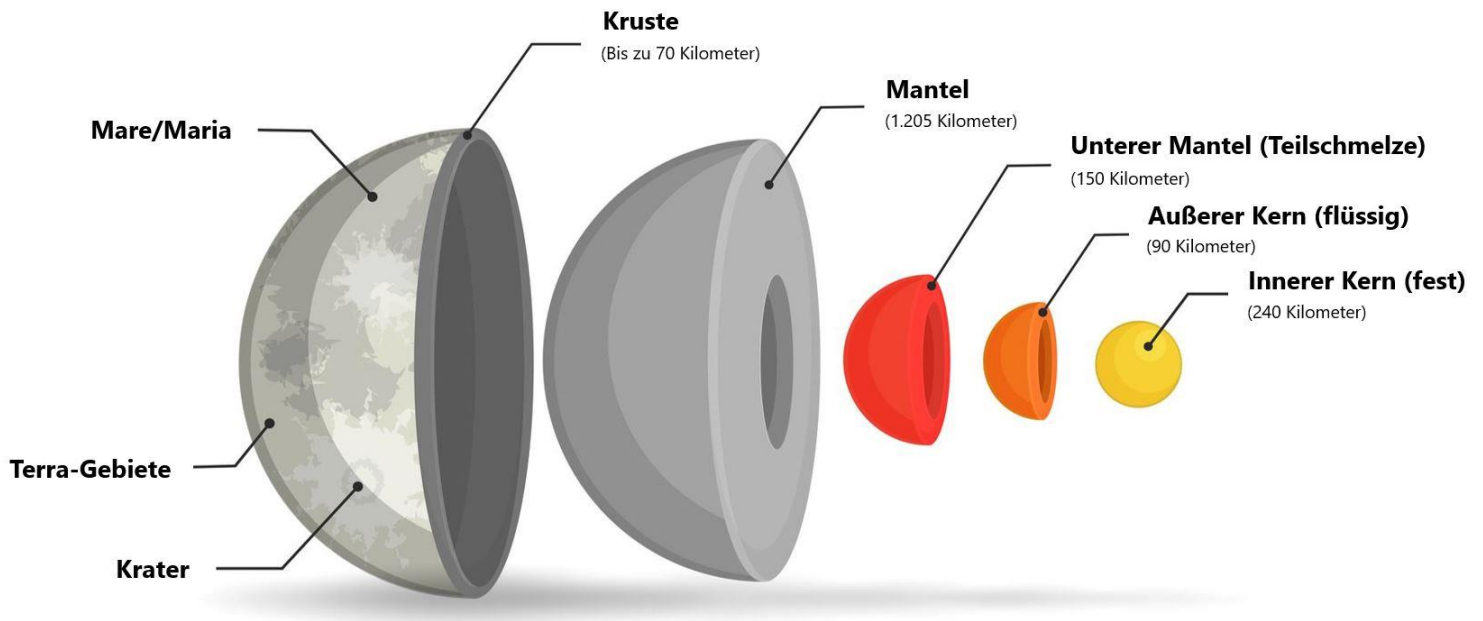
2.2. Vergleiche die Dichte sowie den inneren Aufbau von Erde und Mond und ziehe Rückschlüsse zur Entstehung des Mondes. Interpretiere zudem, warum der Kern des Mondes verhältnismäßig so klein ist. Nutze die bereitgestellten Tabellen, Abbildungen und das Kartenmaterial. In der App findest du die Karten auch in 3D.



Durchschnittliche Dichte – Erde	
Kruste	2,2-2,9 g/cm ³
Mantel	3,4-5,6 g/cm ³
Äußerer Kern	9,9-12,2 g/cm ³
Innerer Kern	12,8-13,1 g/cm ³
Gesamt	5,51 g/cm ³

Durchschnittliche Dichte – Mond	
Kruste	~3 g/cm ³
Mantel	~3,5 g/cm ³
Äußerer Kern	~5 g/cm ³
Innerer Kern	~8 g/cm ³
Gesamt	3,34 g/cm ³





Tragt die bisherigen Ergebnisse im Plenum zusammen.

2.3. Vergleiche die geologische Zusammensetzung von Erde und Mond und ziehe daraus Schlussfolgerungen zur Entstehung des Mondes. Nutze dafür die folgende Tabelle.

Öffne zudem die ColumbusEye-App, finde die Tranquility Base auf dem Mond und lese den Infotext. Stelle heraus, was auf diesem Punkt für Gegebenheiten in den vorhandenen Karten vorherrschen und inwieweit sich diese von den globalen Gegebenheiten unterscheiden. Analysiere zudem, warum „*in situ*“- Daten (an Ort und Stelle gewonnene Daten) so wichtig für die Erforschung des Mondes sind.



Die Zusammensetzung des Mondes wurde auf der Grundlage von Analysen zahlreicher Gesteins- und Bodenproben, die bei den Apollo-Missionen gesammelt wurden, geschätzt und mit Fernerkundungsdaten gestützt. Die Tabelle zeigt die wichtigsten Elemente von der Kruste und dem Mantel von Erde und Mond im Vergleich.

Geologische Zusammensetzung von Kruste und Mantel (in wt%)		
Element	Erde	Mond
Sauerstoff	45,2	44,7
Silicium	22,1	22,5
Magnesium	21,9	20,3
Eisen	6,0	8,2
Calcium	2,3	2,0
Aluminium	2,1	1,9
Titan	<1	<1

Die radiometrische Datierung von Apollo-Gesteinsproben hat ein Alter von bis zu etwa 4,527 Milliarden Jahren ergeben. Das Alter des Mondes wird durch Datierungen von wenigen Mondgesteinen auf Grundlage des radioaktiven Zerfalls bestimmt. Dafür hatten Forscher*innen der Universität Münster die Häufigkeit des Isotops Wolfram-182 im Mondgestein untersucht. Das Isotop ist teilweise aus radioaktivem Hafnium-182 entstanden, das nach geologischen Maßstäben sehr schnell zerfällt. Daher kann die Menge von Wolfram-182 eine relativ genaue Angabe zum Alter der Gesteine geben. Somit liegt die Geburtsstunde unseres Erdtrabanten etwa 30 bis 50 Millionen Jahre nach der Entstehung des Sonnensystems.

- 2.4. Erläutere, ob und inwiefern aus Informationen über Veränderungen der Erddrehung und des Abstands des Mondes zur Erde im Laufe der Zeit Rückschlüsse zur Entstehung des Mondes gezogen werden können.

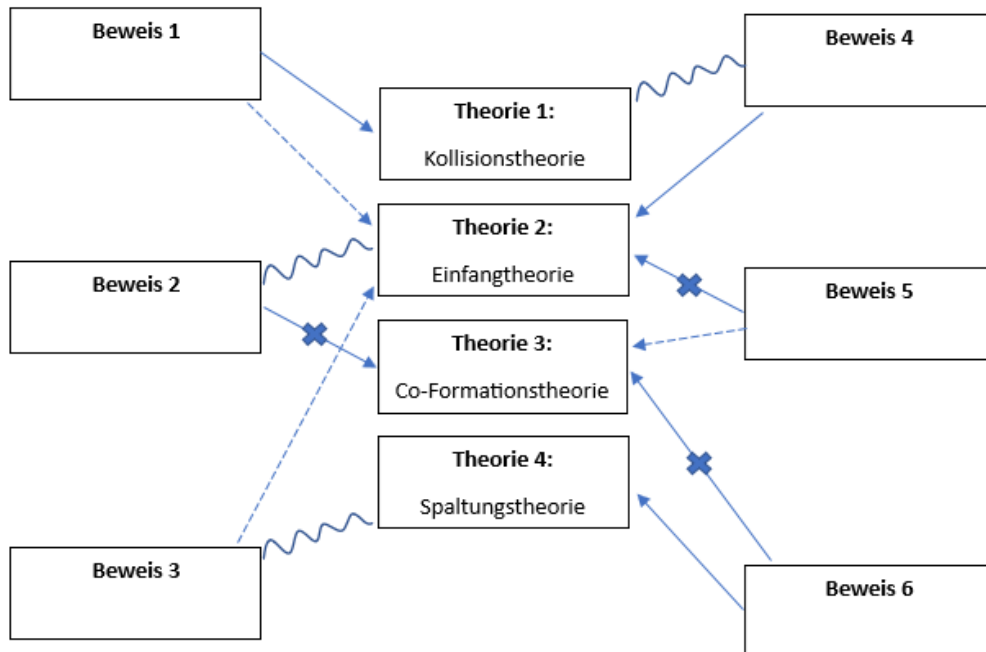
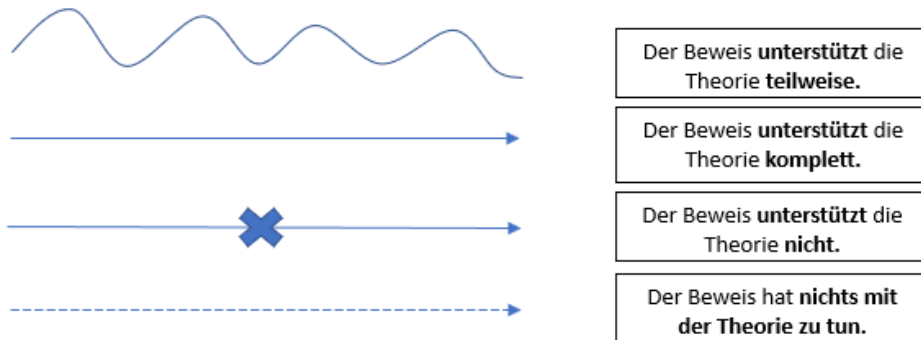
Durch Messung der Zeit, die ein Laserstrahl benötigt, um Reflektoren auf dem Mond zu erreichen und zur Erde zurückzukehren, haben Wissenschaftler*innen herausgefunden, dass sich der Mond langsam von der Erde entfernt, und zwar mit einer Geschwindigkeit von etwa 3,8 Zentimetern pro Jahr. Die Reflektoren wurden während der Apollo-Missionen auf dem Mond platziert. Gleichzeitig nimmt die Geschwindigkeit der Erdrotation mit der Zeit langsam ab. Die Wissenschaftler*innen wissen aufgrund von Untersuchungen historischer Sonnenfinsternisbeobachtungen, Fossilien und Sedimentablagerungen, wie stark die Erdrotation abnimmt.

Die Gesamtenergie des Erde-Mond-Systems bleibt erhalten. Während die Erde an Energie verliert und langsamer wird, gewinnt der Mond an Energie, wodurch sich seine Umlaufzeit und sein Abstand zur Erde vergrößern. Wissenschaftler*innen können die Gesamtenergie des Erde-Mond-Systems berechnen, indem sie die Massen von Erde und Mond, die Geschwindigkeit ihrer Drehung um die eigene Achse und den Abstand zwischen ihnen ermitteln. Da die Geschwindigkeit, mit der sich die Erde dreht, und die Geschwindigkeit, mit der sich der Mond entfernt, bekannt sind, können die Wissenschaftler*innen berechnen, wie hoch diese Werte vor langer Zeit waren. Das Diagramm zeigt zum Beispiel, dass der Mond vor etwa 900 Millionen Jahren einen Abstand von etwa 54 Erdradien hatte, verglichen mit ~60 Erdradien heute. Bei dieser Entfernung des Mondes war der Tag auf der Erde etwa 19 Stunden lang; ein Monat hatte 23 bis 24 Tage und ein Jahr etwa 464 Tage.



Tragt die bisherigen Ergebnisse im Plenum zusammen.

- Entwerft nun in eurer Gruppe mithilfe der Beweise ein **modellbasiertes Verbindungsdiagramm** (s. Abb.). Dafür beurteilt ihr, inwiefern bestimmte Beweise die vier verschiedenen Theorien unterstützen, ihnen widersprechen oder gar nichts damit zu tun haben. Zur Übersichtlichkeit können die Pfeile in vier verschiedenen Farben (für Theorie 1, 2, 3 und 4) gezeichnet werden.



- Sucht euch drei Pfeile aus und erklärt, welche Art von Verbindungspfeil ihr gezeichnet habt und weshalb. Wählt die Pfeile aus, die ihr besonders wichtig oder interessant findet, weil sie z.B. zu Unstimmigkeiten und Diskussionen innerhalb der Gruppe geführt haben.
- Bewertet die Plausibilität der vier Theorien von 1 (sehr unplausibel oder sogar unmöglich) bis 10 (höchst plausibel).
- Besprechung im Plenum

Zusatzaufgaben:

7. Stelle Hypothesen auf, wohin die Überreste des Protoplaneten verschwunden sein könnten.

8. Analysiere, welche Folgen die Entstehung des Mondes für die Erde hatte.