

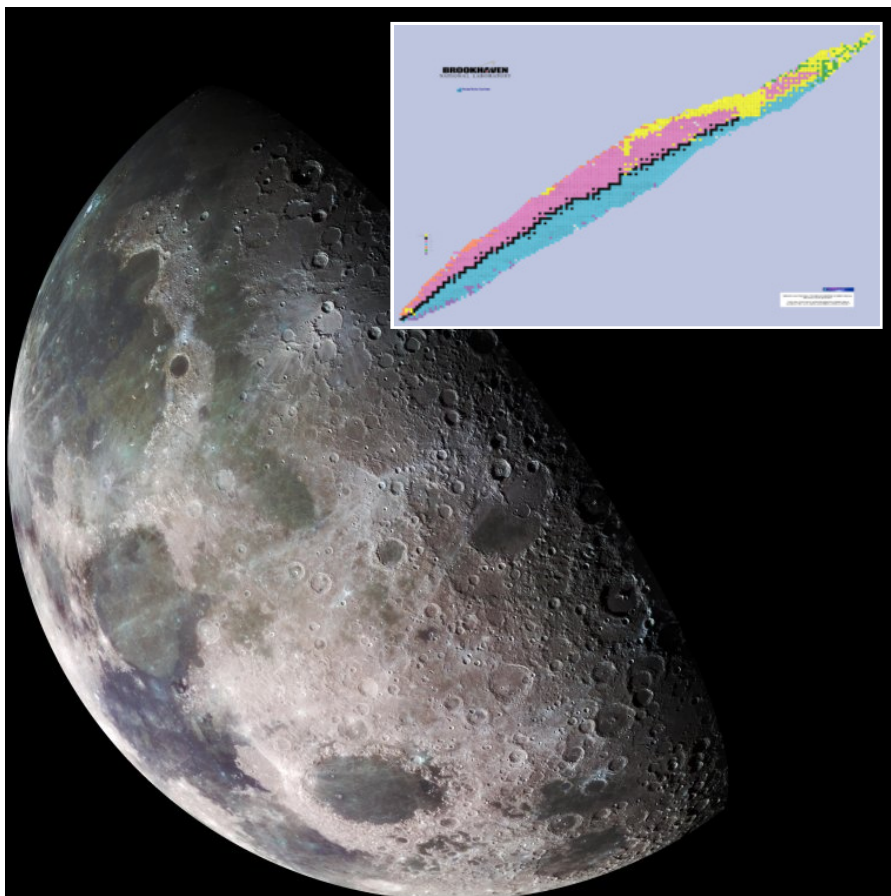
## Isotope einmal anders - die Herkunft des Mondwassers

im Bezug zum Beitrag "Mondwasser stammt vermutlich von der Protoerde" in der Zeitschrift Sterne und Weltraum (Heft 08/2013, Blick in die Forschung, Nachrichten, WIS-ID: 1156160)

Uwe Herbstmeier

Viele Isotope bilden nur einen sehr geringen Anteil an der Gesamtmenge eines Elements in einem betrachteten Himmelskörper und spielen oft eine große Rolle, die Eigenschaften der betrachteten Objekte zu erklären. Die Auswertung geringer Mengen des HDO (D steht dabei für das Deuterium-Isotop des Wasserstoffs) im Mondwasser soll den Schülerinnen und Schülern zeigen, welche faszinierenden Erkenntnisse zur Entwicklungsgeschichte unseres Erde-Mond-Systems aus sehr genauen Messungen kleiner Größen gewonnen werden können. Außerdem bietet diese Herangehensweise eine reizvolle Ergänzung zur Betrachtung der Isotope, die meist im Rahmen der Radioaktivität und Kernspaltung eingeführt werden.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten, Kleinkörper	Mond, Erde, Entstehung des Sonnensystems, Wassergehalt
Physik	Quantenphysik	Struktur der Materie, Isotope, Deuterium
Fächer- verknüpfung	Astro-Deutsch Astro-Chemie	Bildbeschreibung Wasser, Wasserstoff, Deuterium, Isotop, Sauerstoff
Lehre allgemein	Kompetenzen	Genauere Beobachtung, Fähigkeit genauer Beschreibung, Auseinandersetzung mit komplexen Fragestellungen, Hypothesenbildung und Hypothesenprüfung
	Unterrichtsform	Kleingruppenarbeit, Präsentation
	Unterrichtsmittel	Bilder, Texte, Pinwand, Projektionsmöglichkeit, Papier, Strohhalm



Unser Mond, aufgenommen von der Raumsonde Galileo auf ihrem Weg zum Jupiter (Quelle: NASA/JPL/USGS)  
Einschub: Die Nuklidkarte aller Elemente und ihrer Isotope (Quelle: National Nuclear Data Center/Brookhaven National Laboratory)

## **Ziel dieser Unterrichtseinheit - Isotope einmal anders betrachtet** [\[zurück zum Titel\]](#)

In der Mittelstufe lernen die Schülerinnen und Schüler Grundlegendes zum Aufbau der Atomkerne kennen. Dabei wird auch der Begriff **Isotope** eingeführt. Der Artikel *"Mondwasser stammt vermutlich von der Protoerde"* in der Zeitschrift *Sterne und Weltraum* 8/2013 bietet ein Beispiel unter Vielen für die Bedeutung der Isotope bei der Vertiefung unserer Kenntnis der Welt.

Dieser WIS-Beitrag zielt auf die Fähigkeit logische Zusammenhänge zu bilden, Querverbindungen zu vorhandenem Wissen zu ziehen und kritische Betrachtungen anzustrengen. Die grundlegende Methodik lehnt sich an die beiden WIS-Beiträge [\[WIS\\_01\]](#) und [\[WIS-02\]](#) von Inga Gryl an, die dort auch ausführlich die didaktischen Hintergründe aufzeigt.

## **Der Mond - wieder ganz aktuell** [\[zurück zum Titel\]](#)

### **Der Mond - Ziel der Raumfahrt**

Bei der Rückkehr der letzten Taikonauten von ihrem Ausflug in die Erdumlaufbahn wurde von Seiten der Verantwortlichen neben dem Aufbau einer bemannten Raumstation erneut ein bemannter Flug zum Mond als weiterer Schritt in die Zukunft der chinesischen Raumfahrt genannt. Auch bei den Raumfahrtagenturen anderer Länder schlummern Pläne in den Schubladen, die in der einen oder anderen Weise den Mond als künftiges Ziel vorsehen. Auch wurden in den letzten Jahren mehrere Missionen zum Mond geschickt, um weitere Daten von unserem Begleiter im All zu erhalten: SMART von der europäischen ESA, der japanische Kaguya-Satellit, Chinas Chang'e 1 und 2, Chandrayaan 1 aus Indien, der amerikanische Lunar Reconnaissance Orbiter, der zusammen mit LCROSS unterwegs war und jüngst die beiden GRAIL-Satelliten (siehe auch [\[1\]](#)). Auch für die aktuelle Schülergeneration ist die Tatsache spannend, dass Wettbewerbe ausgeschrieben worden sind, Mondmissionen auf privater Basis zu entwickeln und durchzuführen [\[2\]](#).

### **Aufgabe 1: Genaue Beobachtung des Mondes** (Verbindung zum Fach Deutsch)

Für einen persönlichen Einstieg in die Materie wird der Mond zunächst durch direkte Betrachtung genauer erfasst. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht darin, eine Bildbeschreibung im Rahmen des Faches Deutsch zu gestalten, in der der Mond am Abend- oder Morgenhimmel genauer beschrieben werden soll. Zusammen mit dem Fachlehrer in Deutsch sollte der Zeitrahmen dafür mit Hilfe eines Planetariumsprogramms ausgewählt werden (z.B. Stellarium unter <http://www.stellarium.org>), um die Sichtbarkeit und die Phase des Mondes zu ermitteln. Die Schülerinnen und Schüler werden angehalten, an einigen Tagen den Mond (ggf. auch relativ zu den Gebilden auf der Erde in Richtung des Mondes) genauer zu beobachten, um als Quintessenz einen kurzen **Bildbeschreibungsaufsatz** zu erstellen. Bei ungünstiger Unterrichtszeit bzw. Schlechtwetterperioden können auch passende Bilder aus dem Internet, aus Büchern oder anderen Quellen genutzt werden. Siehe hierzu auch als Beispiel:

### **Arbeitsblatt 1:** Bild vom Erdmond als Grundlage einer Bildbeschreibung

## Der Mond bietet Überraschungen - Mondwasser

[\[zurück zum Titel\]](#)

### Ergebnisse der jüngsten Mondmissionen - Es gibt Wasser auf dem Mond

Bis vor einigen Jahren wurde die Mondoberfläche als fast völlig frei von Wasser angesehen. Dies ist nicht selbstverständlich, da das Molekül  $H_2O$  gar nicht so selten in der interstellaren Materie zu finden ist. Es besteht nur aus dem bei weitem häufigsten Element Wasserstoff und dem relativ zahlreich im Universum zu findenden Sauerstoff. Jedoch ist der Mond durch die geringe Größe fast völlig atmosphärenfrei und damit den extremen Temperaturen durch die direkte Sonneneinstrahlung (bis maximal  $130^{\circ}C$ ) ausgesetzt. So können die flüchtigen Wasserteilchen das Schwerefeld des Mondes leicht verlassen. Darüber hinaus besteht kein Schutz gegen den Einflüssen des energiereichen Sonnenwinds, der Moleküle zerstören kann.

Dennoch hielten sich Überlegungen, dass es Orte für die Existenz von Wasser auf dem Mond gibt. Zum einen sind dies tiefe Krater am Südpol. Die Orientierung der Mondachse und die hohen Kraterwände schirmen den Kraterboden so ab, dass dorthin niemals Sonnenlicht gelangt. Zum anderen bietet sich die Möglichkeit, dass in den Strukturen des Mondgesteins Wasser gebunden wird.

Die Sonde LCROSS der NASA beobachtete den Aufschlag einer Atlas-V-Centaur Raketstufe, die gezielt in die Südpolregion des Mondes gelenkt worden war. Dabei wurden Hinweise auf Wasservorräte in den dunklen Südpolkratern gewonnen. Siehe hierzu auch den WIS-Beitrag [\[WIS-03\]](#) und die NASA-Seiten [\[3\]](#)



LCROSS mit Raketstufe (Skizze, Quelle: NASA)

### Apollo-Mondgestein neu analysiert

Auch die erneute Analyse des Mondgesteins, das von den Apollo-Missionen zur Erde gebracht wurde, mit aktuellen empfindlichen Massenspektrometern u.Ä. zeigte, dass in den Glaseinschlüssen der Magmagesteine Wasser zu finden ist.

In der Nachricht aus *Sterne und Weltraum* wird die Analyse zweier Proben der Apollo-Missionen 15 und 17 (Juli/August 1971 bzw. Dezember 1972) vorgestellt. Der Wassergehalt betrug in diesen Proben 6-69 ppm (1ppm = 1 parts per million = 1 Millionstel) der gesamten analysierten Gesteinsprobenmenge.



Mondgestein (Probe Nr 70017), mitgebracht von der Apollo-17-Mission (Quelle: NASA)

## **Aufgabe 2 - Vergleich der Erde und des Mondes - Bedeutung der Funde**

[\[zurück zum Titel\]](#)

Nach der genauen Betrachtung des Mondes sollten diese Beobachtungen in den direkten Vergleich zum Erscheinungsbild der Erde gestellt werden um die grundsätzlichen Unterschiede zusammenzufassen.

### **Arbeitsblatt 2:** Die Erde als Vergleich.

Für diese und die folgenden Aufgaben werden Kleingruppen mit jeweils 3-4 Schülerinnen und Schülern gebildet. Bei der Zusammensetzung wird darauf geachtet, dass alle in einer Gruppe einen Beitrag leisten können. Ggf. könnten in der Klasse Experten ausgedeutet werden, die den Gruppen beratend aber nicht dominierend zur Seite stehen.

Ziel der Aufgabe ist es, die beiden Himmelskörper bzgl. der deutlichen Unterschiede im Erscheinungsbild zu vergleichen. Die Kinder sollen sich auf 3-4 wesentliche Punkte einigen. Dabei werden mit großer Sicherheit die Farbe, das Wasser und die Wolken/Atmosphäre genannt werden. Interessant wäre es dabei zu betrachten, wie eng sich bei der Analyse an die Bildvorlage gehalten wird und welche Fakten aus dem Grundwissen der Schülerinnen und Schüler, wie z.B. der Größenunterschied, stammen. Dies wird thematisiert, um den kritischen Blick auf die Einflüsse bei der genauen Beobachtung von Details zu lenken.

Im Zuge der Präsentation der Ergebnisse wird dann der Fokus auf das Thema Wasser gelenkt und (falls nicht bereits angesprochen) die Existenz von Wasser auf dem Mond vorgestellt.

## **Aufgabe 3 - Wo ist das Wasser des Mondes zu finden**

### **Arbeitsblatt 3:** Informationen über den Mond

Auf dem Arbeitsblatt werden eine Reihe von Informationen über die Mondoberfläche zusammengestellt, die nun den Schülergruppen ausgehändigt werden. Die Schülerinnen und Schüler werden angehalten, mit Hilfe dieser Informationen Hypothesen darüber zu bilden, wo sich das Wasser auf dem Mond befinden könnte. Wichtig dabei ist, dass diese Hypothesen durch schlüssige Argumentationen hinterlegt werden. Die Schülergruppen stellen die Ergebnisse vor. Es sollten immer wieder Anmerkungen diese Hypothesen hinterfragen.

Am Ende werden die Hypothesen mit den beiden gefundenen Möglichkeiten konfrontiert und somit mit der Realität verglichen.

## Die Quelle des Wassers auf dem Mond - Isotopenvergleich

[\[zurück zum Titel\]](#)

### Woher stammt das Mondwasser?

Nachdem die Grundlagen geschaffen worden sind, kommt automatisch die Frage auf, woher dieses Wasser stammen könnte. Die Antwort darauf hat auch Relevanz für die Frage, wie unser Erde-Mond-System entstanden ist. Grundsätzlich, ähnlich wie für die Erde, gibt es hier 2 Szenarien:

1. Das Wasser stammt aus der näheren Umgebung der Erdbahn und wurde durch Aufsammeln der einzelnen Planetesimale (Bausteine bei der Planetenbildung) zusammengeballt.
2. Die Erde entstand so gut wie ohne Wasser. Erst nach Bildung des Mondes und durch das Bombardement mit Kometen aus den äußeren Bereichen des Sonnensystems wurde das Wasser auf die Erde und ebenfalls auf den Mond gebracht.

Als wichtiger Aspekt steht hierbei im Raum, dass durch die Temperaturschichtung von der inneren Zone nahe der heißen (Proto-)sonne bis zum äußeren sehr kühlen Außenbereich, ein Abstand von der Sonne, die sog. Eislinie, definiert werden kann. Hier im Abstand von ca. 4-5 AU (1 AU = 1 astronomical unit = mittlerer Abstand Erde-Sonne ca. 149,6 Mio. km), kondensiert im Protonebel des Planetensystems verstärkt Wasser(eis) aus. In kleineren Abständen hält sich ebenfalls Wasser aber in Form von Kristallwasser innerhalb der Staubkörnchen des Protonebels.

### Aufgabe 4: Isotope - Hilfe bei der Entscheidung über diese Szenarien

Nun stellt sich den Schülergruppen folgende grundsätzliche Frage. Welche Eigenschaft des Wassers lässt es zu, zu entscheiden, aus welchen Bereichen das Wasser stammt? Die Schüler werden damit aufgefordert, sich den Bezug zu den aktuellen Inhalten des Unterrichts vor Augen zu führen. Damit kommen sie zum Kern der Argumentationskette.

**Arbeitsblatt 4:** An Hand welcher Eigenschaft des Wassers kann den Quellort des Mondwassers identifiziert werden.

#### ***Ergebnis zum Arbeitsblatt:***

Um dies zu entscheiden, nutzt man aus, dass das Wasser aus den verschiedenen Bereichen des Sonnensystems unterschiedliche Anteile an **Deuterium**, dem **Wasser-Isotop** mit einem Kern aus einem Proton und einem Neutron, zeigen.

Bedingt durch die massenabhängigen Unterschiede der Reaktionsraten von Deuterium D und einfachen Wasserstoff H, die je nach Umgebungsbedingungen zu anderen Verhältnissen führen, ist in den äußeren Bereichen das Verhältnis D/H um einen Faktor 2 größer als im Innenbereich. Dabei müssen sehr sorgfältige Messungen gemacht werden, denn das Verhältnis liegt in der Größenordnung  $D/H = 0,1 - 10 \cdot 10^{-4}$ , und es existieren noch andere physikalische Prozesse, die den Deuteriumanteil mit der Zeit verändern (Einfluss des Sonnenwinds und Ausgasen des Wassers vor dem Einschluss in die Glasschmelze).

Wie kann man die unterschiedlichen Werte des D/H-Verhältnisses in den verschiedenen Bereichen des Sonnensystems feststellen? Hierfür werden die Himmelskörper als D-Probepartikel genutzt, die aus den verschiedenen Zonen um unsere Sonne herum stammen.

## **Aufgabe 5: Die lunaren Isotopenverhältnisse im Vergleich zu den Ergebnissen für andere Himmelskörper: Hinweise auf den Ursprung des Wassers**

### **Arbeitsblatt 5:** Werte der Deuteriummessungen an verschiedenen Himmelskörpern

Das Arbeitsblatt listet die Resultate der Messungen des Deuteriumanteils bei verschiedenen Himmelskörpern auf. Der beobachtete Wert des Mondes ist ebenfalls angegeben.

#### ***Ergebnis zum Arbeitsblatt:***

Durch die Darstellung der Werte können die Messergebnisse schnell miteinander verglichen werden. Es zeigt sich, dass zum einen der Wert des Mondes dem der Erde und der sog. kohligen Chondrite, Meteorite, die aus dem Asteroidengürtel hauptsächlich zwischen Mars und Jupiter aber auch dem Innenbereich des Sonnensystems stammen, sehr nahe kommt. Zum anderen wird deutlich, dass sich die Werte deutlich von denen der großen Gasplaneten und der noch entfernteren Kometen unterscheiden.

Daher liegt die Schlussfolgerung nahe, dass ähnliche Werte auch einen ähnlichen Entstehungsort verraten. Damit ist es sehr wahrscheinlich, dass der Ursprung des Wassers des Mondes mit dem auf der Erde und mit den Körpern im nahegelegenen Asteroidengürtel zusammenhängt. Hypothese 1 wird dadurch gestärkt und ein Einfluss der entfernten Kometen für unwahrscheinlich erklärt. Dies ist auch ein Indiz dafür, dass Erde und Mond zunächst als eine Einheit entstanden sind. Dabei ist aber eine weitere Hypothese erforderlich, wie der Fortbestand des Wassers bei der Entstehung des Mondes erklärt werden kann (siehe den Artikel in *Sterne und Weltraum*).

Den Schülerinnen und Schülern wird der *Sterne und Weltraum* Artikel ausgehändigt.

### **Ergänzung - Die Erklärung der Unterschiede - ein Hinweis**

[\[zurück zum Titel\]](#)

#### **Warum ändert sich das D/H-Verhältnis im Sonnensystem?**

Verschiedene physikalische Prozesse, die bei der Bildung der Wassermoleküle relevant sind, sind abhängig von der Masse der Reaktionspartner. So findet die Bildung der Moleküle bevorzugt auf kleinen Staubteilchen statt. Die Mobilität der Einzelatome wird dabei stark durch die Masse bestimmt. Auch das Abdampfen der Teilchen von den Staubkörnchen ist massenabhängig, je mehr Masse, desto mehr Bewegungsenergie ist erforderlich die Teilchen vom Substrat abzulösen.

**Zusatzaufgabe: Modell der unterschiedlich schweren Teilchen**

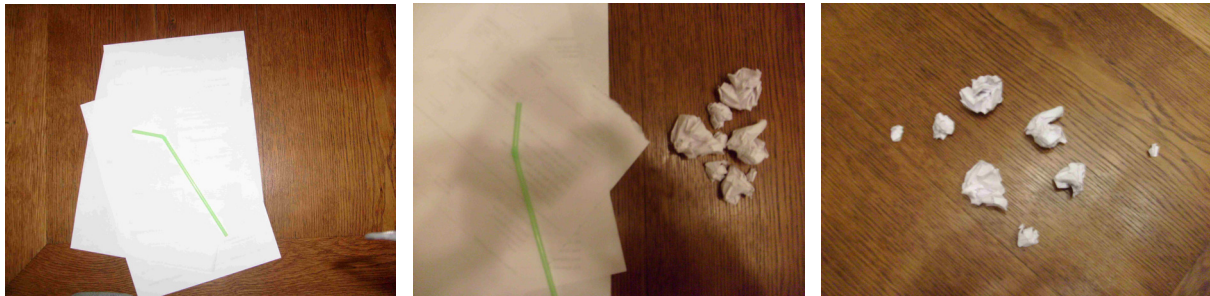
[\[zurück zum Titel\]](#)

Um die Beweglichkeit der schweren Teilchen zu simulieren, werden den einzelnen Schülergruppen folgende Materialien verteilt:

- Mehrere Blätter Papier (alternativ: verschiedene Perlen o.Ä. unterschiedlicher Masse)
- ein Blasrohr (Strohalm)

Den Gruppen wird die Aufgabe gestellt, allein aus diesen Materialien ein Model zu erstellen, wie sich Körper unterschiedlicher Masse bei einem Einfluss von außen (hier durch einen Luftstrom) im Vergleich zueinander verhalten: Warum sind die Unterschiede zwischen Deuterium <sup>2</sup>H und einfachem Wasserstoff <sup>1</sup>H deutlicher als bei anderen Elementen (z.B. <sup>18</sup>O und <sup>17</sup>O)?

Die Ergebnisse werden gemeinsam diskutiert:



Aus den Blättern (Erstes Bild) können unterschiedliche Streifen gerissen und zu verschieden schweren Kügelchen zerknüllt werden. Beim Blasen werden die leichten Kügelchen deutlich weiter nach außen getrieben (Vergleich des zweiten mit dem dritten Bild).

Deuterium ist im Vergleich zum einfachen Wasserstoff doppelt so schwer, während sich <sup>18</sup>O und <sup>17</sup>O nur durch 1 n, also 1/17 der Gesamtmasse des <sup>17</sup>O unterscheiden.

**WIS-Artikel mit Bezug auf diesen Beitrag**

[\[zum Titel\]](#)

[WIS-01]	<a href="#">Titan - Spurensuche in einer anderen Welt</a>	Inga Gryl
<a href="#">[zum Zitat]</a>	Mit Hilfe der Methode "Mystery" werden die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen der Titan-Oberfläche und der der Erde von den Schülern herausgearbeitet.	
[WIS-02]	<a href="#">Jenseits des "Mondgesichts".</a>	Inga Gryl
<a href="#">[zum Zitat]</a>	Erkundung von Sateillitenbildern	
	Durch die sehr genaue Betrachtung von Mond- und Plaetenbildern werden die Verhältnisse auf den Oberflächen dieser Himmelskörper betrachtet.	
[WIS-03]	<a href="#">Wasser und Tennisbälle</a>	Markus Schlager
<a href="#">[zum Zitat]</a>	Beschreibung der Fundorte des Mondwassers durch LCROSS und Betrachtungen zur Frage, warum mondwasser überhaupt vorhanden ist.	

**Weitere Quellen**

- [1] Wikipedia-Liste: Chronologie der Mondmissionen mit weiterführenden Links:  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Chronologie\\_der\\_Mond-Missionen](http://de.wikipedia.org/wiki/Chronologie_der_Mond-Missionen) ([zum ersten Zitat](#))
- [2] Wikipedia-Artikel zu: Google Lunar X-Prize  
[http://de.wikipedia.org/wiki/Google\\_Lunar\\_X-Prize](http://de.wikipedia.org/wiki/Google_Lunar_X-Prize) ([zum ersten Zitat](#))
- [3] internet-Seiten der NASA zur Mondmission LCROSS  
[http://www.nasa.gov/mission\\_pages/LCROSS/main/index.html](http://www.nasa.gov/mission_pages/LCROSS/main/index.html) ([zum ersten Zitat](#))

**Arbeitsblätter**

Auf den folgenden Seiten werden alle Arbeitsblätter angehängt.

## **Arbeitsblatt 1: Unser Mond.**

Die Aufgabe ist es eine genaue Bildbeschreibung unseres Mondes anzufertigen.



(Quelle: ESA)



## Arbeitsblatt 2: Die Erde zum Vergleich



(Quelle: Apollo 17, NASA JPL)

## **Arbeitsblatt 3: Informationen über den Mond**

Der Mond bewegt sich auf einer Ellipse in einer mittleren Entfernung von 385.000 km einmal alle 27,3 Tage um die Erde. Dabei bewegt er sich zusätzlich noch mit der gleichen Periode einmal um seine eigene Achse, die  $6,7^\circ$  zu seiner Bahnebene geneigt ist (Erde:  $23,4^\circ$ ). Dies hat zur Folge, dass er uns immer nur eine Seite seiner Oberfläche zuwendet.

Der Mond besitzt so gut wie keine Atmosphäre. Dies führt dazu, dass durch die Einstrahlung der Sonne, die Temperaturen auf der Oberfläche bis zu  $130^\circ\text{C}$  klettern können, während es sich in der Mondnacht auf  $-160^\circ\text{C}$  abkühlt (keine temperatenausgleichenden Winde vorhanden).

Betrachtet man den Mond genauer so erkennt man eine Abfolge großflächiger, dunkler Gebiete, die jeweils Mare (lateinisch für "Meer") genannt werden. So gibt es z.B. das Mare Imbrium (Regenmeer) oder das Mare Tranquilitatis (Meer der Ruhe).

Neben den Maria gibt es Bereiche, die wie Gebirge sich aus der Landschaft herausheben. Auch die zahlreichen großen und auch kleineren Krater, die auf allen Regionen verstreut sind (Gebirge wie Maria) und von Einschlägen großer Meteorite stammen, tragen zu der Strukturbildung der Mondoberfläche wesentlich bei.

Einige Krater am Südpol sind so angeordnet und zeigen so hohe Kraterwände, dass auf den Boden in ihrem Inneren nie ein Sonnenstrahl dringt, weder montags noch mondachts.

Einige der großen Gebilde wurden durch das Ausströmen von Mondmagma geformt. In diesem Magmagestein befinden sich Anhäufungen von glasartigen Materialien, in denen zur Zeit der Aufschmelzung durch Einschläge größerer Asteroiden oder Kometen oder andere Ereignisse auf dem Mond flüchtige Stoffe hermetisch eingeschlossen worden sind.

Derartige Gesteinsproben wurden während der 6 Apollo-Missionen in den Jahren 1969-1972 in größeren Mengen zur Erde zurückgebracht und seitdem immer wieder im Detail analysiert.

Sonden, die in den letzten Jahren zum Mond geschickt worden sind, wurden teilweise von Raketenteilen begleitet, die gezielt auf die Oberfläche des Mondes gelenkt worden sind, oder sie zerschellten am Ende ihrer Nutzungszeit ebenfalls gezielt auf der Mondoberfläche. Dabei wirbelten diese Einschläge kräftig Staub und Gestein auf, was dann wiederum von den Geräten in den Sonden vor Ort oder auf der Erde bzgl. ihrer Zusammensetzung analysiert worden ist. So wurden auch Teile direkt in die südpolaren Krater gesteuert.

## **Arbeitsblatt 4: Mögliche Quellen des Mondwassers**

### **Wie kann man herausfinden, woher das Mondwasser stammt**

Grundsätzlich gibt es, ähnlich übrigens wie für die Erde, 2 mögliche Szenarien:

1. Das Wasser stammt aus der näheren Umgebung der Erdbahn und wurde durch Aufsammeln der einzelnen wasserhaltigen Planetesimale (Asteroiden, Bausteine bei der Planetenbildung) zusammengeballt.
2. Die Erde entstand so gut wie ohne Wasser. Erst nach Bildung des Mondes wurde das Wasser durch das Bombardement mit Kometen aus den äußeren Bereichen des Sonnensystems auf die Erde und ebenfalls auf den Mond gebracht.

Als wichtiger Aspekt steht hierbei im Raum, dass durch die Temperaturschichtung von der inneren Zone nahe der heißen (Proto-)sonne bis zum äußeren sehr kühlen Außenbereich, ein spezifischer Abstand von der Sonne, die sog. Eislinie, definiert werden kann. Hier im Abstand von ca. 4-5 AU (1 AU = 1 astronomical unit = mittlerer Abstand Erde-Sonne ca. 149,6 Mio. km), kondensiert im Protonebel des Planetensystems verstärkt Wasser(eis) aus. In kleineren Abständen hält sich ebenfalls Wasser aber in Form von Kristallwasser innerhalb der Staubkörnchen des Protonebels.

Die Antwort darauf hat auch Relevanz für die Frage, wie unser Erde-Mond-System entstanden ist.

### **Aufgabe:**

Überlegt in euren Gruppen, welche Eigenschaft des Wassers geeignet ist, in den verschiedenen Ursprungsgebieten des Mondwassers unterschiedlich zu sein. Findet Argumente für Eure These und stellt sie vor.

## Arbeitsblatt 5

Messwerte des Anteils an Deuterium (D) im Vergleich zum einfachen Wasserstoff (H):

Himmelsobjekt	Entfernung zur Sonne in AU	D/H / 10 <sup>-4</sup>
Jupiter	5,2	0,25
Saturn	9,6	0,34
Uranus	19,3	0,59
Neptun	30,1	0,65
Mars	1,5	1
Erde	1	1,4
kohlige Chondrite	ca. 1-3	1 bis 2
Venus-Atmosphäre	0,7	160
Kometen in der Oort-Wolke	> 40	2,5 bis 4
Mond - Analyse von Gesteinsproben aus dem Apollo-Programm	1	1,8

AU = Astronomical Unit = mittlerer Abstand Erde-Sonne (ca. 149,6 Mio. km)

Kohlige Chondrite = Meteoriten, die aus dem Asteroidengürtel stammen, Rest aus der Bildung des Sonnensystems

Oort-Wolke = eine Kugel um die Sonne in einer Entfernung weit außerhalb der Planetenbahnen, gilt als Ursprungsort der meisten Kometen

### **Aufgaben:**

1. Trage die Messwert in ein Diagramm ein in Abhängigkeit vom Ort der betrachteten Himmelskörper
2. Leite aus dem Diagramm ab, welche Quelle für das Mondwasser sehr wahrscheinlich ist.