

Wanderung der Mondachse steuert Wasser auf der Erde [16. Apr.]

Eine neue Untersuchung des Mondes berichtet von einem Ereignis, bei dem dessen Rotationsachse [1] vor rund 3 Milliarden Jahren langsam aus ihrer ursprünglichen Lage verschoben wurde. Hinweise auf diese Theorie liefern Vorkommen von altem Wassereis [1], das sich in der Nähe der Pole unseres Trabanten befindet.

Beobachtungen mithilfe der Mondmissionen Lunar Prospector [1] (1998-1999) und dem noch aktiven Lunar Reconnaissance Orbiter [1] (Abb. 1) identifizieren Wasserstoff in den Polregionen des Mondes. Diese Wasserstoffvorkommen weisen auf die Existenz von Wassereis hin. Das Wassereis ist jedoch nicht direkt auf der Mondoberfläche sichtbar, sondern befindet sich versteckt in Kratern in der Polregion des Erdtrabanten.

Die Auswertung der Beobachtungen weist darauf hin, dass sich die Mondachse innerhalb von rund einer Milliarde Jahre um etwa 6 Grad verschoben hat.

Mit diesem Befund reiht sich der Mond in die Gruppe der sog. Polwanderer [1] im Sonnensystem ein, der nur einige wenige Himmelskörper angehören: die Erde, der Planet Mars [1], der Saturnmond Enceladus [1] sowie der Jupitermond Europa [1].



Abb. 1 Künstlerische Darstellung des Lunar Reconnaissance Orbiter am Mond.
Die Mission untersucht den Erdtrabanten seit dem Jahr 2009.

© NASA

Einige Planeten und andere massereiche Objekte des Sonnensystems haben ihre Rotationsachse durch unterschiedliche Einflüsse geändert, beispielsweise die Gravitationswirkung eines anderen, massereicheren Objektes, Kollisionen oder Bombardements durch Asteroiden [1] oder auch die Verschiebung der Masse im Inneren des Himmelskörpers.

Die Polwanderung der Erde erfolgt wahrscheinlich durch die Bewegung der Kontinentalplatten [1], die des Mars allerdings aufgrund einer in der Vergangenheit sehr aktiven vulkanischen Region. Beim Mond dagegen hat die Polwanderung eher "innere" Ursachen.

Die frühe Entwicklung des Mondes

Die frühe Dynamik und die thermische Entwicklung [1] des Mondes sind nicht bis ins Detail verstanden. Jedoch könnte die Lage der Wasserstoffdepots in der Nähe der Pole unseres Trabanten einen Einblick in diese Entwicklung geben:

Die polnahen Vorräte des Mondes, die möglicherweise Wassereis [1] enthalten, können nur "überleben", wenn sie sich permanent im Schatten befinden und nicht von der Sonne beschienen werden. In anderen Regionen der Mondoberfläche ist das ehemals vorhandene Wassereis bereits durch die Einwirkung der Sonnenstrahlung verschwunden: das Eis sublimierte [1] und ist in den Weltraum entwichen.

Die Lage der Rotationsachse

Die Lage der Rotationsachse eines Planeten oder Himmelskörpers hängt von dessen innerer Masseverteilung [1] ab: schwerere Bereiche im Inneren des Himmelskörpers lenken die Rotationsachse in Richtung seines Äquators aus, leichtere in Richtung seiner Pole. In seltenen Fällen bewirkt die Umverteilung der inneren Masse eines Himmelskörpers jedoch eine Änderung seiner Rotationsachse, die Polwanderung.

Falls sich im Laufe der Entwicklung des Mondes dessen Orientierung im Raum verändert hat, könnte sich die Lage dieser Wassereisdepots ebenfalls verschoben haben. Daher ist die Beobachtung des Milliarden Jahre alten Eises ein direkter Hinweis auf die Orientierung der Rotationsachse des Mondes in der Vergangenheit.

Wo befindet sich das Wassereis?

Die Lage der polnahen Wassereis-Depots wurde in der Vergangenheit bereits vermessen: sie befinden sich in der Nähe des Nordpols bei (84,9°N, 147,9°O) und in der Nähe des Südpols bei (84,1°S, 309,4°O) (Abb. 2). Der Offset [1] gegenüber der heutigen Rotationsachse des Mondes beträgt rund 5,5 Grad.

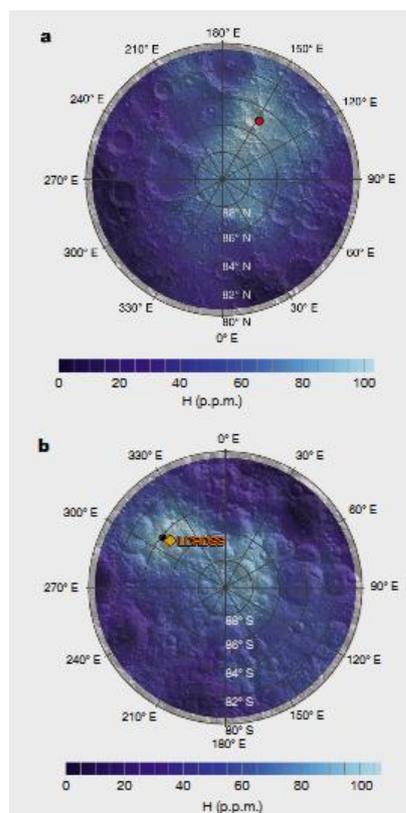


Abb. 2 Lage der Wasserstoffdepots am Nord- und Südpol des Mondes.

Die Position der gemessenen Wasserstoffdepots am Nordpol (oben, rote Markierung) und Südpol (unten, schwarze Markierung) des Mondes zeigt, dass sich diese Regionen nicht direkt an den Polen des Erdtrabanten befinden.

© [2]

Damit entspricht die räumliche Verteilung der Wasserstoffdepots auf der Mondoberfläche nicht der Verteilung von Wassereis wie man sie von den gegenwärtigen Temperaturen auf dem Mond erwarten würde. Zudem steht dieser Befund der Verteilung von flüchtigen Stoffen in ähnlichen polnahen Regionen auf dem Planeten Merkur [1] entgegen.

Die polaren Wasserstoffdepots weisen darauf hin, dass die Rotationsachse des Mondes im Laufe seiner Entwicklung gewandert ist: die Wasserstoffreservoirs befinden sich auf gegenüberliegenden Bereichen der Mondoberfläche und sind gegenüber den Polen gleichmässig, aber in entgegengesetzter Richtung verschoben (Abb. 3).

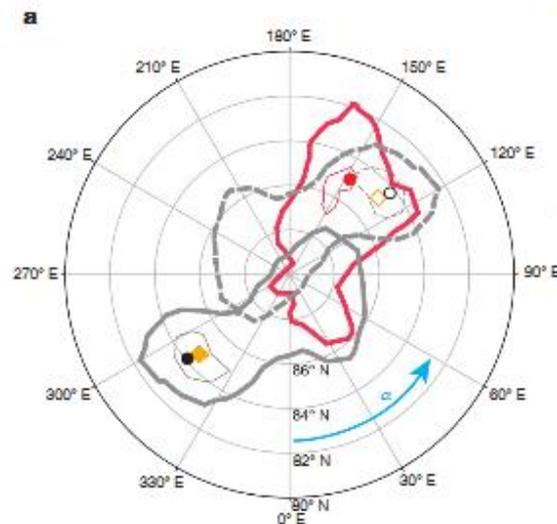


Abb. 3 Position der polnahen Wasserstoffdepots an den Polen des Mondes.

Die Position der gemessenen Wasserstoffdepots an den Polen des Mondes (s. Abb. 2, rote und schwarze Markierung) zeigt, dass sich diese Gebiete nicht direkt an den Polen befinden und zudem nicht direkt gegenüberliegen. Die der schwarzen Markierung gegenüberliegende Position entspricht dem leeren Kreis (schwarzer Rand).

© [2]

Aus der Richtung und der Stärke dieser Verschiebung (Abb. 3) und der Analyse des Trägheitsmoments [1] des Mondes schliessen die Forscher [2], dass die Änderung der Rotationsachse (wahre Polwanderung [1], Abb. 4a) durch eine Dichteanomalie [1] unterhalb der Oberflächenregion Oceanus Procellarum[#] [1] verursacht wurde.

[#] Oceanus Procellarum = Meer der Stürme [1]

Die Region befindet sich am westlichen Rand der uns zugewandten Seite des Mondes. Das Oceanus Procellarum ist das größte Mondmeer [1] und besitzt einen Durchmesser von rund 2.500 Kilometern.

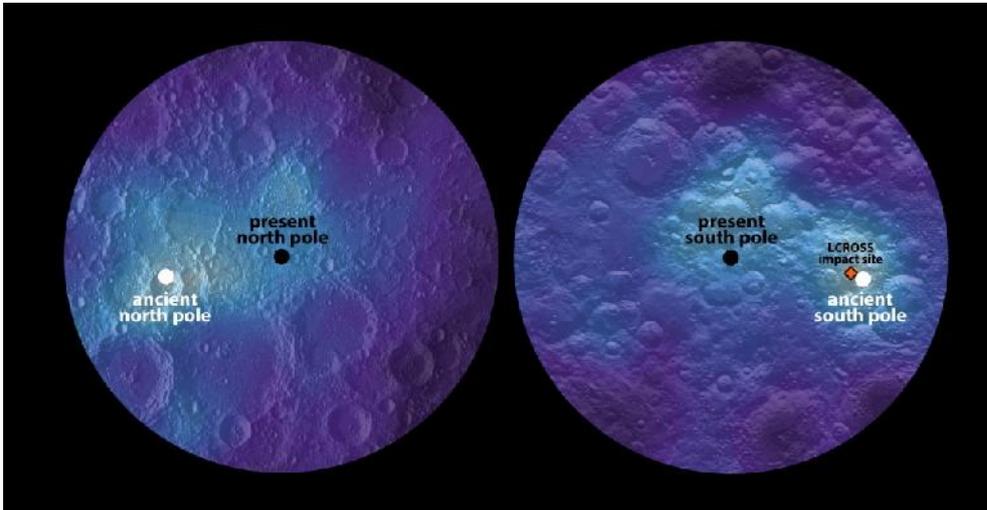


Abb. 4a Position der ehemaligen und heutigen Pole des Mondes.

Die Mondkarten zeigen die lunaren Vorkommen von Wasserstoff, ein Hinweis auf das dort vorhandene Wassereis in Polnähe, im Bereich von 80 Grad Nord (links) bzw. Süd (rechts).

Die Wasserstoffvorkommen (weisse Kreise) liegen nicht an den Positionen der heutigen Pole des Mondes (schwarze Kreise).

© J. T. Keane

Die sog. radiogene Aufheizung* [1] innerhalb dieser Region könnte den Grossteil des Vulkanismus der Mondmaria [1] verursacht und damit die Dichtestruktur des Mondes verändert haben, indem das Trägheitsmoment [1] des Mondes geändert wurde (Abb. 4b). Durch diese Prozesse setzte die Polwanderung des Erdtrabanten ein. Die Theorie könnte die in der Nähe der Mondpole verbliebenen Wasserstoffdepots erklären.

* Radiogene Aufheizung und die Polwanderung des Mondes

Die Polwanderung des Erdtrabanten setzte im Gegensatz zu anderen Mitgliedern des Sonnensystems nicht primär durch eine geologische Aktivität, sondern durch innere Bewegungen ein. Dabei soll vor rund 3,5 Milliarden Jahre zuerst ein Teil des Mondmantels [1] durch vulkanische Aktivität geschmolzen sein; anschliessend ist dieser innere Bereich wie eine Blase in Richtung der Mondoberfläche gewandert, um dort eine Art radioaktive Kruste auszubilden, die wie ein Ofen den unter ihr liegenden Mantel aufheizte.

Daraus bildeten sich möglicherweise die dunklen basalthaltigen Mondebenen (Oceanus Procellarum). Im Oceanus Procellarum sammelten sich nach der Bildung des Mondes die radioaktiven Elemente. Der geschmolzene Mondmantel war leichter als der erkaltete Mantel. Die radiogene Aufheizung in dieser Region bedingte den Hauptteil des Vulkanismus der Mondmaria und veränderte dadurch die Dichtestruktur des Mondes.

Die beschriebene thermische Anomalie [1] existiert noch immer und kontrolliert noch immer die Orientierung des Mondes.

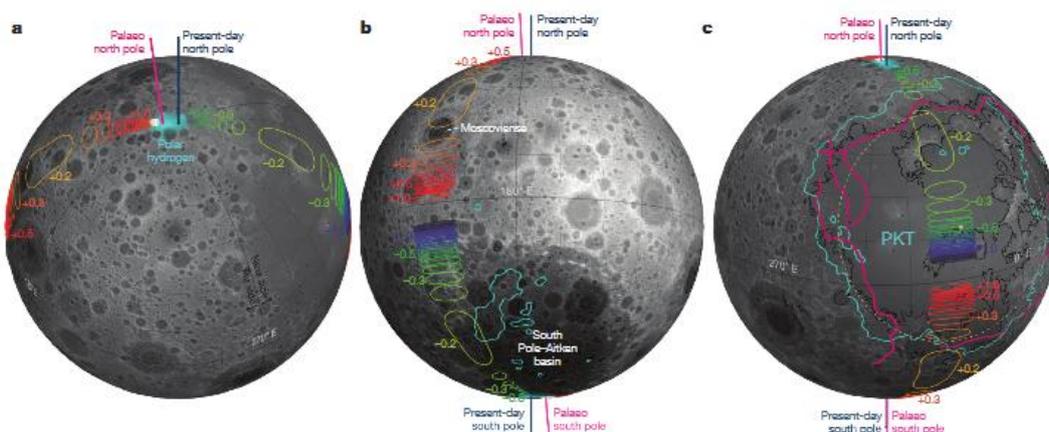


Abb. 4b Vergleich der polaren Wasserstoffdepots und der Lage der Pole.

Die Position der Wasserstoffreservoirs (polar hydrogen, türkis) am Nord- (a, links) und am Südpol (b, rechts) des Mondes. Am Südpol werden grosse Mengen Wassereis in der Nähe des Aitken-Basins [1, 3] vermutet. Die heutige Lage der Pole (blau, present-day north pole) ist gegenüber der Lage in der Vergangenheit (pinkfarben, paleo north pole) unterscheidet sich um mehrere Grad.

Rechts: Die Verschiebung der Lage der Pole des Mondes deutet auf Verschiebungen der Masse unterhalb der Mondoberfläche (Masseanomalie). Negative Werte deuten auf den heutigen Masseüberschuss oberhalb des Äquators), positive Werte auf den in der Frühphase des Mondes (unterhalb des Äquators). Schwerkraftanomalien entsprechen dem pinkfarben umrandeten Bereich.

© [2]

Die Procellarum-Region war geologisch gesehen in der frühen Entwicklung des Mondes am aktivsten. Daher wurde die Polwanderung des Mondes wahrscheinlich bereits vor einigen Milliarden Jahren eingeleitet.

Ausserdem ist der Grossteil des gemessenen polaren Wasserstoffs alt. Das deutet darauf hin, dass Wasser bereits in der Frühphase der Entwicklung des Sonnensystems in dessen innere Bereiche transportiert wurde.

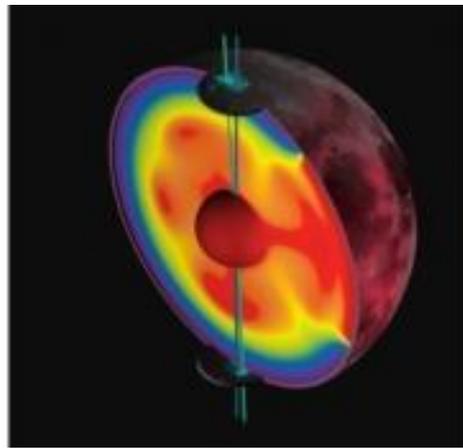


Abb. 5 Querschnitt des Mondes und dessen Masseverteilung.

Die Querschnittsansicht zeigt den Mond und dessen polare Eisvorkommen (zyanfarben) sowie die frühere Rotationsachse (grüne Achse). Die Änderung der Orientierung der Rotationsachse in ihre heutige Lage (blaue Achse) wurde wahrscheinlich durch die Bildung und Entwicklung des Oceanus Procellarum gesteuert, einer Region auf der erd zugewandten Seite; ihre Lage fällt mit einem erhöhten Vorkommen von durch radiogene Aufheizung erzeugte chemische Elemente zusammen sowie mit einem erhöhten Wärmefluss im Mondinneren und einer früheren vulkanischen Aktivität.

© J. T. Keane

Während der letzten rund 4,5 Milliarden Jahre hat der Mond (relativ zur Erde) langsam seine Orientierung im Raum geändert und uns - wenn wir das hätten beobachten können - dabei ein sich veränderndes "Gesicht" gezeigt (Abb. 6).

Übertragen auf die Erde würde das bedeuten, die Erdachse hätte sich von ihrer Lage in der Antarktis [1] nach Australien verschoben. Die Information über die Wanderung der Mondpole ist in der Verteilung der polaren Wassereisvorräte erhalten geblieben.

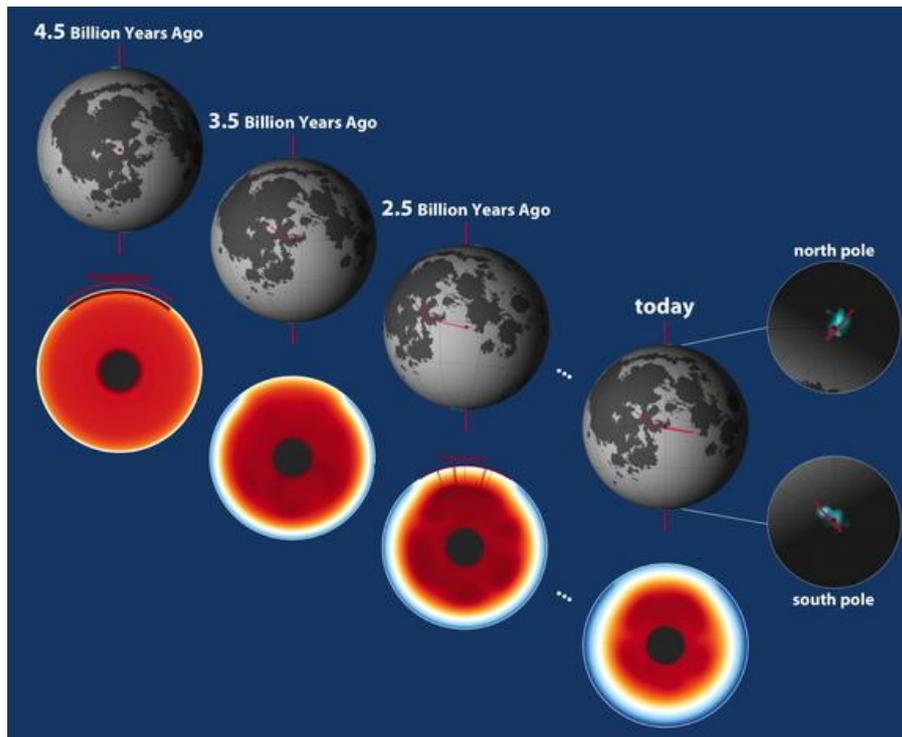


Abb. 6 Änderung der Rotationsachse des Mondes und dessen Ansicht.

Die Änderung der Rotationsachse des Mondes bedingte, dass uns der Mond seit einigen Milliarden Jahren immer wieder ein anderes "Gesicht" zeigt. Während dieser Zeit hat sich auch die innere Struktur des Mondes geändert. Rechts: Heutige Vorkommen von Wassereis in den Polregionen.

© J. T. Keane

Die neue These der Forscher [2] könnte die gegenüberliegende Verteilung des polaren Wasserstoffs auf dem Mond erklären und diese an den Polen vorliegenden flüchtigen Stoffe mit der geologischen und geophysikalischen Entwicklung des Mondes sowie des Bombardements in der frühen Geschichte des Sonnensystems in Verbindung bringen.

Nun scheint klar, dass auch im Sonnensystem die Dinge nicht immer so waren wie wir sie heute beobachten, auch der "Mann im Mond" [1] hat sich innerhalb der letzten Jahrmilliarden verändert (Abb. 6). Aufgrund der Wanderung der Pole hat der "Mann im Mond" seine "Nase" langsam in Richtung der Erde angehoben.

Fazit

Die Polwanderung des Mondes könnte erklären, weshalb der den Grossteil seines Eisvorrats verloren hat. Die beteiligten Forscher vergleichen dies mit einem mit Wasser gefüllten Glas: die meisten Planeten gleichen einer starren Hand, die das volle Glas hält; die Achsen dieser Planeten bewegen sich während ihrer Entwicklung nicht, das Wasser bleibt im Glas.

Ändert sich jedoch während der Entwicklung eines Planeten die Richtung seiner Rotationsachse, gleicht das einer zitterigen Hand, die Achse bewegt sich und das Wasser schwappt aus dem Glas. Wahrscheinlich hat der Mond durch die Änderung seiner Rotationsachse zunehmend Eis verloren, das zuvor vor der Sonneneinstrahlung geschützt war. Das Eis sublimierte und ging verloren.

Die Entdeckung des Zusammenhangs zwischen der Änderung der Rotationsachse und dem auf dem Mond verbliebenen Eisvorrat öffnet eine neue Tür und bringt eine neue Frage ins Spiel: Weshalb existiert Wasser auf dem Mond und auf der Erde? Die geltende wissenschaftliche Theorie zur Bildung des Sonnensystems postuliert, dass sich Wasser innerhalb der Jupiterbahn nicht bilden konnte.

Wir wissen noch nicht genau, woher das Wasser auf der Erde stammt, so einer der Wissenschaftler. Wahrscheinlich stammt es aus dem äusseren Planetensystem und erreicht die Erde erst, nachdem sich unser Planet und der Mond gebildet hatten. Eisvorkommen auf anderen Planeten - wie dem Mond oder dem Planeten Merkur - könnten bei der Beantwortung dieser Frage weiterhelfen.

Das auf dem Mond noch existierende Eis kann die Polwanderung des Mondes erklären, zudem sind die in Polnähe vorkommenden Eisvorräte sehr alt. Daher könnte das Eis aus der gleichen Quelle stammen, die auch die Erde mit Wasser versorgt hat. Auf der Erde existiert derart altes Eis nicht mehr.

Das Paleo-Eis auf dem Mond könnte Licht ins Dunkel bringen, zumal es in der Vergangenheit keinerlei atmosphärischen Einflüssen oder bedeutenden geologischen Aktivitäten unterlag wie unser Planet. Der Vergleich des Wassers auf der Erde und dem Mond mit dem Wasser(eis) in Asteroiden und Kometen ist für das Verständnis wie in der Vergangenheit derart grosse Mengen Wasser auf die Erde gelangen konnten, von fundamentaler Bedeutung.



Abb. 7 Künstlerische Darstellung der "Ausbeutung" des Mondes

Zukünftig könnten die Wasser(eis)vorräte auf dem Mond für die Kolonisierung des Erdtrabanten führen. Daher ist die genaue Kenntnis der Wasservorräte notwendig.

© redicecreations.com

Die Kenntnis der Verteilung von Wasser(eis) auf dem Mond eröffnet gleichzeitig die Möglichkeit der Kolonisierung des Erdtrabanten [5] und/oder dem Bau einer Mondstation für den Start von Raumfahrtunternehmungen.

Falls Sie Fragen und/oder Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu

Ihre
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter

Quellenangaben:

[1] Information über astronomische und physikalische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Siegler, M. A., et al., Nature 531, 7595 (2016)

[3] Mehr Information über Wassereis am Pol des Mondes
<http://theskyatnight.de/sites/default/files/neue%20mondbasis%20-%20maerz%202016%20-%20tsan.pdf>

[4] Animation (Video) zur Wanderung der Pole des Mondes
<http://www.space.com/32353-moon-s-axis-shifted-6-over-1-billion-years-video.html>

[5] Mehr Information über geologische Vorhaben auf dem Mond
<http://theskyatnight.de/sites/default/files/neue%20mondbasis%20-%20maerz%202016%20-%20tsan.pdf>