

## Partnersuche: Bergbau auf dem Mond [24. Mai]

Nicht erst seit gestern besteht seitens einiger großer Unternehmen ein gestiegenes Interesse an der **Nutzung von Ressourcen aus dem Sonnensystem** [1] für unseren Planeten. Aufgrund seiner relativen Nähe befindet sich der Nachbar der Erde, unser **Mond** [1], im Fokus dieser Unternehmungen. Unser Trabant besitzt zahlreiche Materialien, die von potentiell wirtschaftlichem Interesse sind. Sie könnten nicht nur auf der Erde, sondern auch bei den menschlichen Aktivitäten auf dem Mond und zwischen der Erde und unserem Trabanten äußerst nützlich sein (Abb. 1).

### Partnersuche

Das sind große Worte und ihre Umsetzung scheint immer mehr wahrscheinlich: Die US-amerikanische Raumfahrtagentur *NASA* [1] verkündete im letzten Jahr erneut, daß sie innerhalb der nächsten etwa 10 Jahre zum Mond zurückkehren möchte [3]. Dazu hat die *NASA* am 1. Mai eine **Anfrage an Privatunternehmen** (RFI) [1] gestellt [4].

Die *NASA* sucht **Partner für zukünftige Mondmissionen**. Geplante Erkundungen, wissenschaftliche Untersuchungen und Tests neuer Technologien auf der Mondoberfläche könnten durch das Absetzen von wissenschaftlichen Instrumenten, Experimenten und anderen Nutzlasten durchgeführt werden. Zudem sollten entsprechende Proben der Mondoberfläche gesammelt und zur Erde gebracht werden. Zwecks Kostenminimierung sucht die *NASA* Partner, die diese Vorhaben – wie auch immer – unterstützen.



Abb. 1 Künstlerische Darstellung der Ausbeutung des Mondes durch Astronauten.  
Die US-amerikanische Raumfahrtagentur *NASA* sucht Partner, um innerhalb der nächsten Jahrzehnte Rohstoffe auf dem Mond abzubauen, um diese auf dem Mond selbst und der Erde verwenden zu können.

© ESA

Jedoch plant die *NASA* einen **lunaren Bergbau** (Abb. 2) nicht nur aus wissenschaftlichem Interesse; insbesondere unter kommerziellen Gesichtspunkten könnte der Mond einen **interplanetaren Hafen** mit wertvollen Ressourcen darstellen. Beispiele hierfür wären die Rohstoffe *Eisen* [1] und *Platin* [1].

Der genaue Hintergrund der Anfrage der NASA ist **mehrdeutig**: bisher ist unklar, bis zu welchem Grad man die obigen Vorhaben tatsächlich verwirklichen wird. Jedoch scheint es derzeit, daß die NASA größeres Interesse an einer Rückkehr zum Mond besitzt als zuvor zugegeben, und die Gewinner dieses Denkspiels Unternehmen sind, die sich in den lunaren Bergbau einklinken werden.

### Wissenschaft oder Kommerz?

Sämtliche Formulierungen der NASA im Hinblick auf die Rückkehr zu unserem Trabanten weisen jedenfalls verstärkt auf die **kommerzielle Nutzung** dieser Planung hin, insbesondere die Transporte zum und vom Mond zurück zur Erde. Darunter fällt ganz klar der Bereich Bergbau bzw. die **Ausbeutung des Mondes**, der sicherlich primär dem privaten Unternehmenssektor zufallen wird. Daher werden sicherlich die Designs und die Implementierung der Architektur des Transports zwischen beiden Himmelskörpern nicht von der US-Raumfahrtagentur bestimmt werden.

Unternehmen wie *Astrobiotic Technology*, *Deep Space Industries*, *Golden Spike*, *Moon Express*, *Planetary Resources* und *Shackleton Energy Company* [alle [1]] sind bereits im Gespräch. Die NASA fungiert dabei eher als Ausrichter des lunaren Experiments.

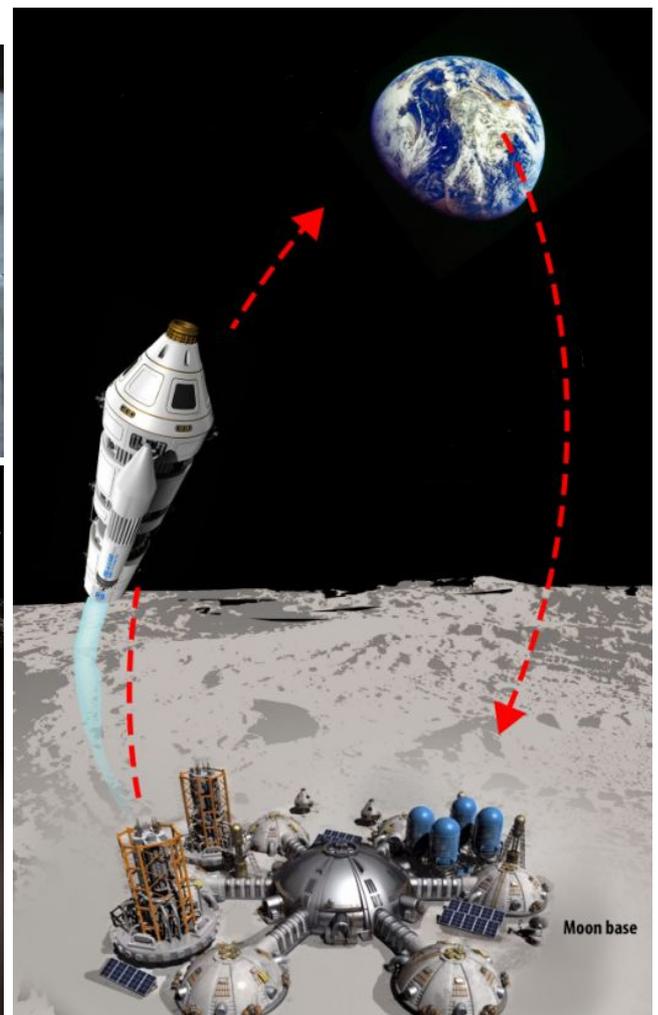
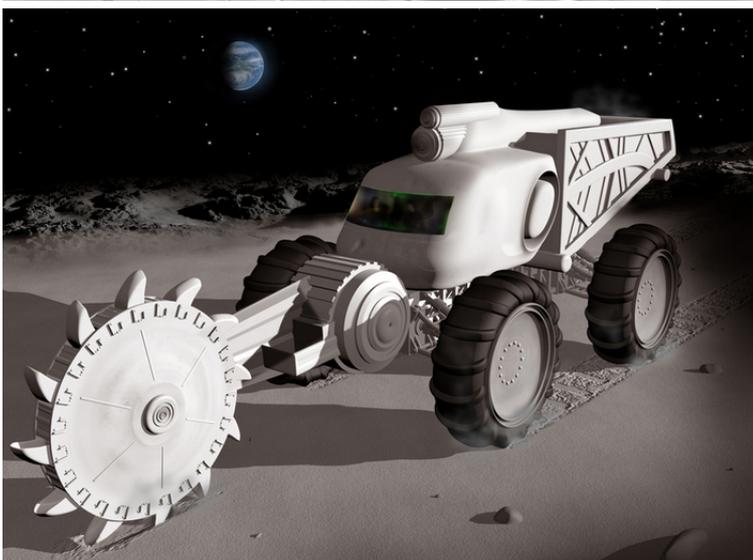


Abb. 2 Künstlerische Darstellung von lunarem Bergbau.

Innerhalb der nächsten Jahrzehnte könnte eine neue Art von Bergbau auf dem Mond entstehen.

© [extremetech.com](http://extremetech.com)//[futuretimeline.com](http://futuretimeline.com)//[explainingthefuture.com](http://explainingthefuture.com)

## Was bietet der Mond?

Die Mondoberfläche wird in hauptsächlich in zwei geologische Bereiche eingeteilt: zum einen in helle, alte **Hochlandregionen**, zum anderen in dunkle und meist kreisförmige **Maria** [1], die sich bevorzugt auf der erdzu- und -abgewandten Seite des Mondes befinden.

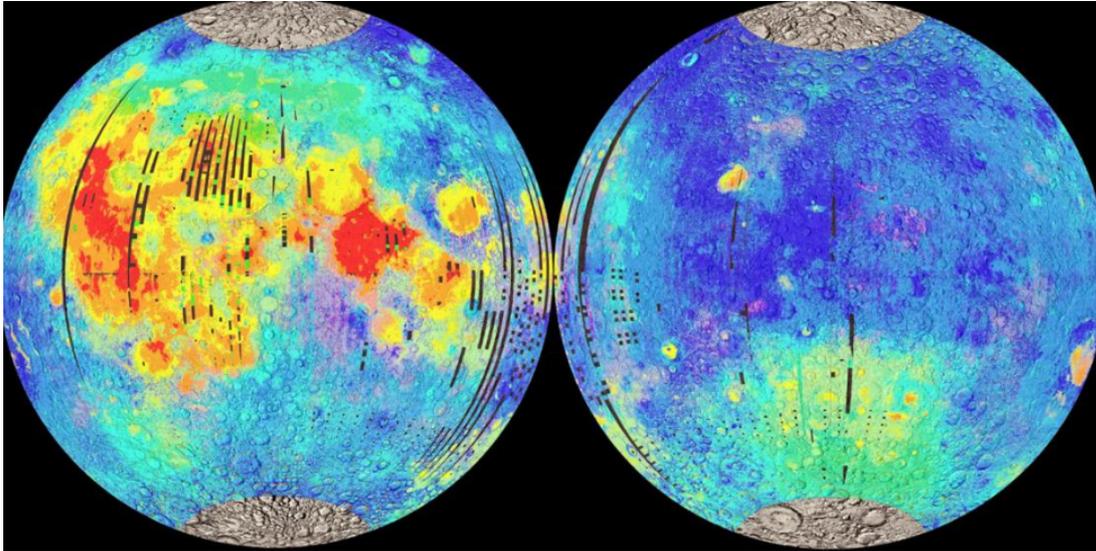


Abb. 3 Verteilung von Regolith auf der erdzu- und -abgewandten Seite des Mondes.  
Die Verteilung von Rohstoffen auf dem Mond ist sehr unterschiedlich. Bereits die Regolithvorkommen auf der erdzu- (links) bzw. -abgewandten Seite (rechts) des Mondes zeigen extreme Unterschiede. Farbcodierung: anorthositische Hochlandregionen (blau), geringe Titan-Basaltvorkommen (gelb, Titan Gehalt < 6 Prozent), hohe Titan-Basaltvorkommen (rot, Gehalt > 6 Prozent). Bei dem großen Gebiet auf der südlichen Hemisphäre auf der erdabgewandten Seite des Mondes handelt es sich um die Südpolregion *Aitken-Basin* [1] (gelb-grünlich). Dort vermutet man eisenhaltiges Gestein in der tiefergelegenen Kruste.

© P. Spudis/LPI

**Die hochgelegenen Gebiete** repräsentieren wahrscheinlich die originale Kruste des Mondes und bestehen vorwiegend aus *anorthositischem Gestein* [1], d.h. sie bestehen zu über 90 Prozent aus *Feldspat* [1], das *calciumreich* [1] ist, sowie eisen- und magnesiumhaltigen Mineralien [1] wie *Pyroxen* und *Olivin* [1] (einige Prozent). Insgesamt könnte man Calcium, Aluminium [1], Silizium [1] und Sauerstoff [1] abbauen, jedoch nur geringe Mengen Magnesium und Eisen.

**Die Mondmaria** bestehen aus *basaltartigen Lavaflüssen* [1]. Ihre Mineralogie wird von einer Kombination aus 5 Mineralien dominiert: *Plagioklas* [1], *Ortho-Pyroxen* [1], *Klinopyroxen* [1], *Olivin* und *Ilmenit* [1]. Die Anteile der Mineralien unterscheiden sich in verschiedenen Lavaflüssen. Es stellt sich heraus, daß die Basalte der Maria reich an Magnesium, Eisen und Titan sind und nur wenig Calcium und Aluminium enthalten (Abb. 3). Das titanhaltigste Gestein ist das Mineral *Ilmenit* und insbesondere in den Regionen *Oceanus Procellarum* [1] im Westen und *Mare Tranquillitatis* [1] im Osten zu finden, also nicht global verfügbar.

## Die Wasserfrage

Wie steht es mit **Wasservorräten** auf dem Mond? Wasser ist nicht nur die Basis für ein Überleben bzw. Arbeiten auf dem Mond, sondern insbesondere im Hinblick auf Bergbauaktivitäten auf dem Erdtrabanten von großer Bedeutung.

Bereits seit mehreren Jahren ist bekannt, daß sich auf beiden Hemisphären des Mondes im Bereich von Regionen, die sich im ständigen Schattenbereich, nördlich bzw. südlich von 80 Grad Breite, befinden, sowie kleinen Schattenregionen bei Breiten bis zu 58 Grad **Wassereis** [1] befinden könnte (Abb. 4). Die NASA-Mondmissionen *Lunar Reconnaissance Orbiter* [1] und *Lunar Crater Observation and Sensing Satellite* [1] haben beträchtliche Mengen Wassereis in Kratern, die sich im Schatten befinden, entdeckt.

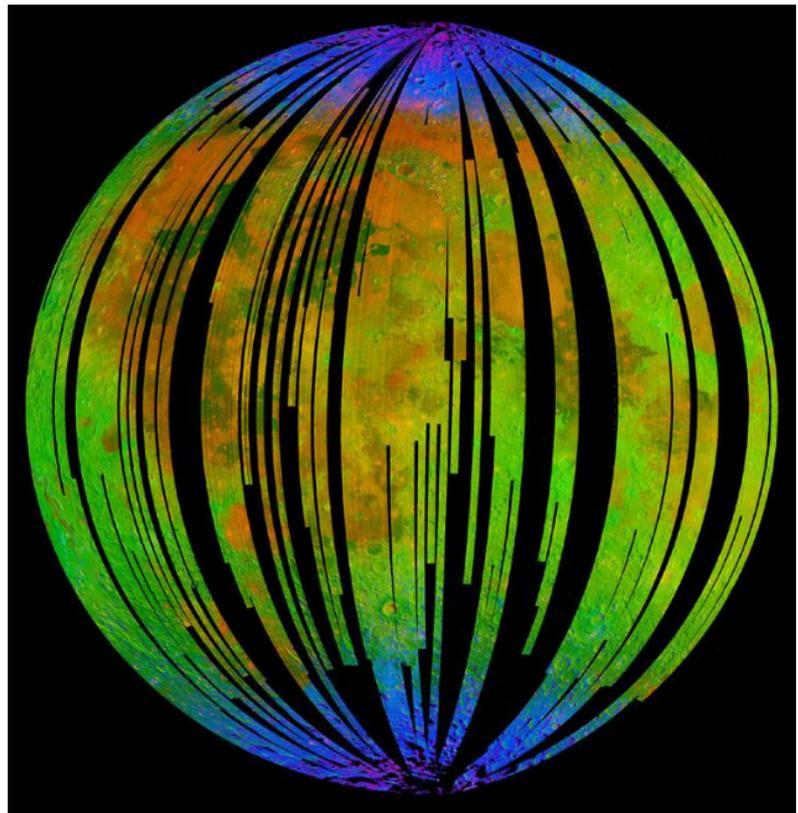
Noch ist nicht bekannt bis zu welchem Ausmaß man Wasser in diesen Regionen finden könnte. Vermutungen reichen bis zu 2.900 Millionen Tonnen (innerhalb von einem Meter an der Oberfläche) [2].

Abb. 4

Falschfarbenaufnahme der erdzu-  
gewandten Seite des Mondes.

Die Falschfarbenaufnahme der erdzu-  
gewandten Seite des Mondes basiert  
auf Daten des *Moon Mineralogy  
Mapper* [1] der indischen Mondmission  
*Chandrayaan 1* [1]. **Blaue** Areale  
entsprechen Bereichen, in denen man  
die Färbung gebundenem Wasser  
zuordnet. **Rote** Färbungen spiegeln  
Pyroxenvorkommen wieder; dort  
befinden sich die Maria. Bereiche mit  
Wassereisvorkommen scheinen sich  
auf hohe Breitengrade zu konzen-  
trieren, jedoch entsprechen diese  
Gebiete größeren als denen, die sich  
permanent im Schatten befinden.

© NASA/ISRO/Brown Univ./R. N. Clark,  
USGS/AAAS



Die Ausbeutung der im Dunkeln liegenden Krater ist sicherlich nicht einfach, sie sind nicht nur relativ kalt, sondern bieten zudem keinerlei Sonnenlicht, um entsprechende Vehikel wie *Rover* [1] mit Strom zu versorgen.

Für die Ausbeutung der Wassereis-Krater sind jedoch riesige Spiegel im Gespräch, die am Rand eines Kraters *Solarpanele* [1] mit Sonnenlicht versorgen könnten.

### **Eisen für die Mondindustrie**

Das **Metall Eisen** kommt auf dem Erdtrabanten nahezu in sämtlichen Basaltmaria vor, jedoch vor allem gebunden in *Silikaten* [1], wie Pyroxen und Olivin, sowie Ilmenit. Dadurch wird die Extraktion von Eisen aus diesen Mineralien sehr energieintensiv, wenngleich man als Nebenprodukt Sauerstoff herstellen würde.

Höhere Eisenkonzentrationen erwarten die Forscher in der Nähe **eisenhaltiger Meteorite** [1], die den Aufprall auf die Mondoberfläche ganz oder teilweise überlebten. Messungen des lunaren *Magnetfeldes* [1] (*magnetische Anomalien* [1]) haben vor einigen Jahren ergeben, daß es sich dabei um Bruchstücke von Meteoriten handeln könnte (Abb. 5).

Die **stärkste magnetische Anomalie** befindet sich am nördlichen Rand des Aitken-Basins am erdabgewandten Südpol des Mondes (Abb. 5). Das entsprechende Gebiet umfaßt rund 650.000 Quadratkilometer. Möglicherweise handelt es sich um Fragmente eines ursprünglich 110 Kilometer großen metallischen Kerns eines *Asteroiden* [1]; dies könnte auf riesige Mengen metallischen Eisens an der Oberfläche des Mondes hinweisen, möglicherweise auch von *Nickel* [1].

**Kleinere Anomalien** weisen darauf hin, daß sich eisenhaltiges Material auf oder direkt unter der Mondoberfläche befindet.

Einige Wissenschaftler sind jedoch der Auffassung, daß man im Hinblick auf die Ressource Eisen eher *erdnahe Asteroiden* [1] ausbeuten sollte als den Mond. Im Zusammenhang mit einer großräumigen Ausbeutung des Mondes und dem Aufbau der dazu notwendigen Infrastruktur scheint die Suche nach zertrümmerten Resten von metallischen Meteoriten jedoch einleuchtend.

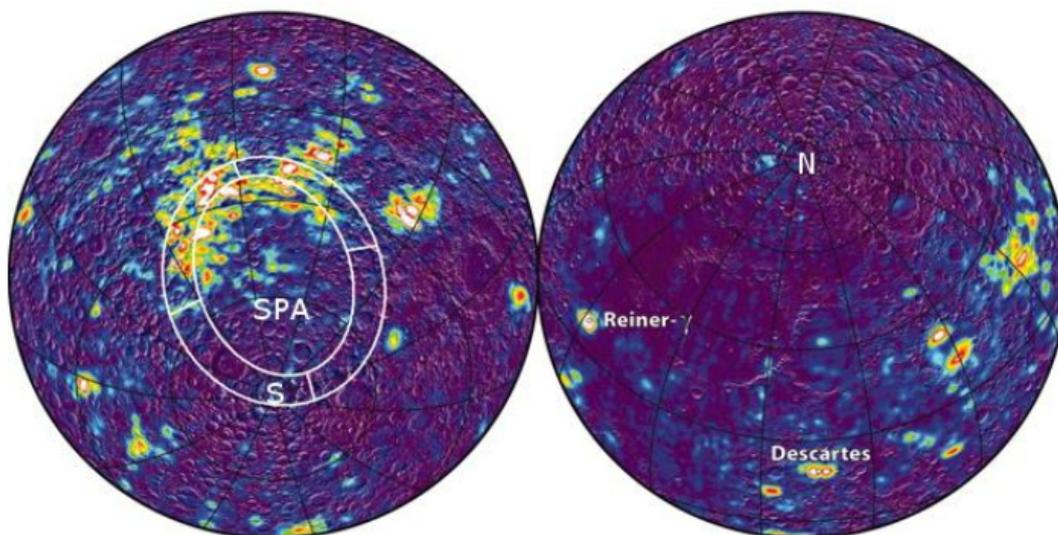


Abb. 5 Magnetische Anomalien auf dem Mond.

Magnetische Anomalien (gelb-orange-rötliche Färbung) befinden sich überwiegend auf der erdabgewandten Seite des Mondes im Bereich der südlichen Hemisphäre (S) [links] sowie auf der nördlichen Hemisphäre der erdabgewandten Seite (rechts). Das Doppeloval (links) umfaßt den Rand des Aitken-Basins (SPA) am Südpol des Mondes. Der Durchmesser des äußeren Ovals entspricht 2.400 Kilometern.

Insbesondere am nördlichen Rand des Basins befinden sich zahlreiche magnetische Anomalien. Die Anomalien könnten Hinweise auf Vorkommen von Eisen und/oder Überresten von *chondritischen Meteoriten* [1] an oder direkt unterhalb der Mondoberfläche sein.

© Wieczorek/Weiss/Stewart, *Science* (2012)/AAAS

Experten sind der Meinung, Weltraumbergbau sei mit einer entsprechenden Ausrüstung durchaus machbar. Einige Spezialisten auf diesem Gebiet rechnen damit, daß die NASA mit einem Aufwand von **3-12 Prozent ihres jährlichen Budgets** das Vorhaben tatsächlich umsetzen könnte.

### **Und die ESA?**

Unlängst bekräftigte die europäische Raumfahrtagentur *ESA* [1] ihre Pläne eine **Mondbasis** [1] zu bauen [5]. Bis zur Verwirklichung könnte die Zusammenarbeit der NASA mit privaten Mondbergbau-Unternehmen die Pläne der ESA unterstützen und damit zu einer schnelleren Verwirklichung beitragen. Außerdem wäre eine derartige Kooperation kostensenkend, denn die

Ressourcen auf dem Mond wären bereits abgebaut und würden weiteres Material von der Erde in geringerem Maße erfordern. Der Rest des notwendigen Materials könnte vor Ort mit einem *3D-Drucker* [1] bereitgestellt werden.

Insbesondere der Abbau von Eisen und Platin auf dem **8. Kontinent** [1], dem Mond, - wie ihn bereits einige Beteiligte bezeichnen -, könnte den lunaren Bergbau profitabel und weitere Stützpunkte auf dem Mond - wie den der ESA - attraktiver machen.

Die NASA scheint mit ihren lunaren Bergbauplänen **zwei Fliegen mit einer Klappe** schlagen zu können: die Anfrage der NASA unterstützt die Pläne des neuen US-amerikanischen Präsidenten, die Rolle der Privatwirtschaft in den Vereinigten Staaten zu stärken UND die Amerikaner (als Erste) zurück zum Mond zu bringen. Außerdem könnte die Zusammenarbeit mit privaten Unternehmen den Transport zum und vom Mond erheblich vereinfachen, nicht auf Kosten der NASA.

### **Und die Marsmissionen?**

Jedoch plant die NASA ebenfalls, innerhalb der nächsten Jahrzehnte Menschen zum Mars zu schicken. Was geschieht mit diesen Plänen?

Wahrscheinlich rutschen die geplanten Marsmissionen weiter in die Ferne, möglicherweise bis zum Beginn der 30-er Jahre (2030). Die NASA hat mögliche Missionen zum *Roten Planeten* [1] nicht aufgegeben. Mithilfe einer **lunaren Weltraumstation** [1] sollen diese Missionen nicht mehr von der Erde, sondern aus einem *Mondorbit* [1] starten. Dazu existiert bereits ein *Joint Venture* [1] zwischen den Unternehmen *Lockheed Martin* [1] und *Boeing* [1], die innerhalb der nächsten 30 Jahre eine lunare Treibstoffstation, sozusagen eine **Mondtankstelle**, errichten sollen, die es bis zu 1.000 Menschen ermöglichen soll, permanent im Weltraum zu leben und zu arbeiten.

Es existieren **weitere große Pläne**: Die Milliardäre *Elon Musk* [1], *Jeff Bezos* [1] und *Robert Bigelow* [1] wollen Menschen und Waren auf den Mond bringen. Zudem ringen mehrere Teams um den Erhalt des *Google-Preises* in Höhe von 30 Millionen US-Dollar [1], wenn sie es schaffen einen Rover auf den Mond zu befördern.

Die letzte im Rennen verbliebene deutsche Gruppe sind die **PT Scientists** [6]. Das Team plant eine rund 15-tägige Mission zu dem Standort, an dem der letzte Mensch den Mond verlassen hat. Mithilfe neuer Technologien wollen die PT Scientists einen Rover auf den Mond bringen.

Wir sind gespannt wie sich das deutsche Team schlagen wird, und wie das Rennen um die Wiedereroberung des Mondes ausgeht.

Falls Sie Fragen und Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter **[kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu](mailto:kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu)**

Ihre  
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter

Quellenangaben:

[1] Mehr Information über astronomische Begriffe  
[www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)

[2] Mehr Information zu den neuen NASA-Plänen  
<http://www.iflscience.com>  
Crawford, I. A., et al., *Progr. Phys. Geogr.* **39**, 2, 137-167 (2015)

[3] Mehr Information zu den Marsplänen der NASA  
[http://theskyatnight.de/sites/default/files/nasa%20plant%20vom%20mond%20zum%20mars%20-%20apr%202017%20-%20TSAN\\_0.pdf](http://theskyatnight.de/sites/default/files/nasa%20plant%20vom%20mond%20zum%20mars%20-%20apr%202017%20-%20TSAN_0.pdf)

[4] Mehr Information zum *Lunar Surface Cargo Transportation Services Request for Information* (RFI)  
<https://www.fbo.gov/index?s=opportunity&mode=form&tab=core&id=970ad3020c0f35f26bc0621fbf8f3b64>

[5] Mehr Information über die Mondpläne der ESA  
<http://theskyatnight.de/sites/default/files/neue%20mondbasis%20-%20maerz%202016%20-%20tsan.pdf>

[6] Mehr Information über die PT Scientists  
<http://ptscientists.com/>