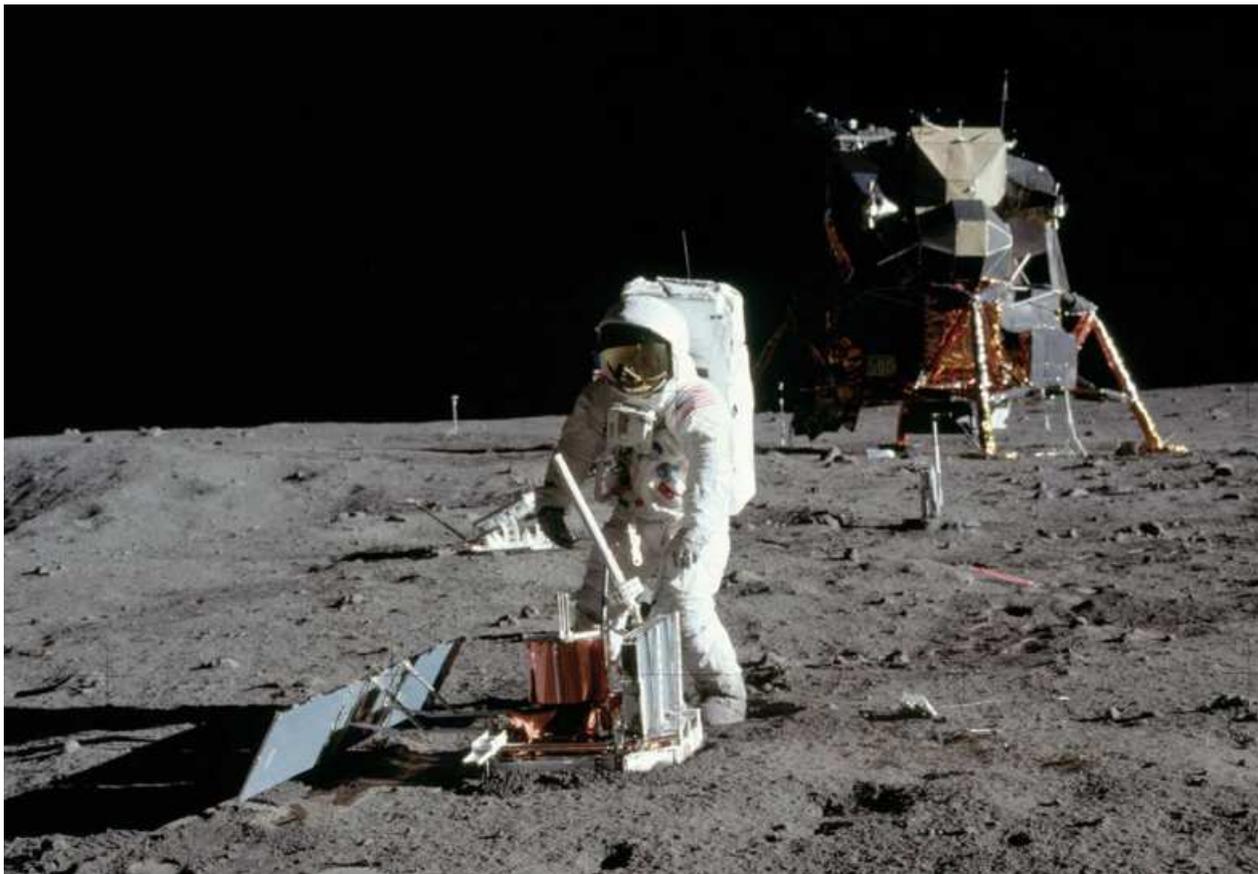


50 Jahre Mondlandung – ein kurzer Rückblick [17. Jul.]



© NASA

Der **erste und der letzte Fußabdruck auf der Mondoberfläche** werden sicherlich für immer erhalten bleiben, es sei denn der Mond wird von zahlreichen Einschlägen bombardiert, die sie für immer ausradieren werden. Doch das ist sehr unwahrscheinlich.

Eine der größten technischen Leistungen des 20. Jahrhunderts war die sichere Landung von Astronauten auf dem Mond im Rahmen des **Apollo-Programms**. Im Zeitraum von **1969 bis 1972** erkundeten insgesamt 12 Astronauten an 6 Landeplätzen unseren Erdtrabanten. Während mehreren Tagen waren sie nicht nur zu Fuß, sondern auch in Rovern unterwegs und legten rund 100 Kilometer auf der Mondoberfläche zurück. Dabei wurden zahlreiche Experimente auf der Oberfläche durchgeführt und Mondgestein eingesammelt, insgesamt etwa 382 Kilogramm. – © NASA



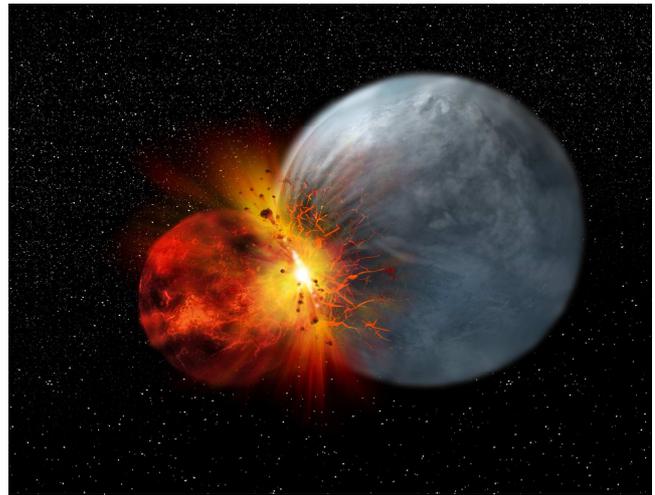
Sicherlich war die ursprüngliche Motivation einer Mondlandung größtenteils geopolitisch bestimmt, dennoch berücksichtigten die Verantwortlichen auch das wissenschaftliche Potential der Erforschung des Mondes. Allerdings vergingen Jahre bis zur **Apollo 17-Mission**, die erstmals einen **Geowissenschaftler, Harrison Schmitt**, zum Mond brachte.

Noch heute profitieren wir von dem Apollo-Programm der US-amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA. Apollo hat die weitere Erforschung des *Sonnensystems* nachhaltig geprägt. Insgesamt entstanden rund 6.000 Aufnahmen der Mondoberfläche, 2.100 Kilogramm wissenschaftliche Ausrüstung wurden im Rahmen des Programms auf den Erdtrabanten gebracht.

Die Entstehung des Erde-Mond-Systems

Mithilfe der Mondproben der letzten 50 Jahre sollte das Erde-Mond-System und dessen Entstehung besser verstanden werden, außerdem die Entstehung des gesamten *Planetensystems*. Aktuell wird zur Entstehung des Mondes ein riesiger **Impakt** favorisiert, bei dem sich der Mond aus den Überresten eines Himmelskörpers von der Größe des Planeten *Mars* beim Zusammenstoß mit der Erde vor rund 4,5 Milliarden Jahren bildete.

© Elser, Univ. Zürich



Neben zahlreichen numerischen Modellen, die auch die unverhältnismäßige **Größe des Mondes** gegenüber der Erde zu erklären versuchen, sind es insbesondere die enormen Gesteinssammlungen, die ein geochemisches Modell stützen. Beispielsweise zeigt der Mond relativ zur Erde lediglich ein geringes Vorkommen von *Eisen* (Fe), was auf einen im Vergleich zu seiner Größe sehr kleinen Kern hinweisen könnte. Auch flüchtige Elemente sind im Vergleich zur Erde weniger oft zu finden, was ebenfalls auf eine hochenergetische Kollision hinweist, aus der sich der Mond mit Verlusten an Wasser und flüchtigen Elementen bildete.

Jedoch weisen einige geochemische Funde der Apollo-Mission nicht unbedingt auf einen riesigen Impakt. Einige Elemente wie *Sauerstoff* (O), *Silikone* und *Titan* (Ti) besitzen sowohl auf der Erde als auch dem Mond eine ähnliche Zusammensetzung.

Neue Modelle und Überlegungen

Neue Modelle implizieren einen möglichen chemischen Austausch in einer stark aufgeheizten *Wasserstoffwolke*, die die Erde und den Mond nach der Kollision umgeben haben soll. Denkbar ist ebenfalls eine Kollision als sich die Erdoberfläche in einem geschmolzenen Zustand befunden hat.

Die Beantwortung auf zahlreiche Fragen in diesem Zusammenhang steht noch immer aus. Daher ist möglicherweise nicht nur eine neue Untersuchung des Mondgesteins, sondern auch eine neue Sammlung weiterer Proben von entscheidender Bedeutung.

Falls der Mond durch eine hochenergetische Kollision entstanden ist, sollte er einen Großteil seines Wassers und anderen flüchtigen Elementen verloren haben. Jedoch stellte man innerhalb der letzten 10 Jahre fest, daß der Mond sehr wohl Wasser enthält. Beispielsweise ist auf dem Mond Wasser in *vulkanischen Glasperlen* und anderen Mineralien gebunden. In diesem Zusammenhang ist das Mineral *Apatit* [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$], eines der letzten Mineralien, die aus vorhandenem Magma kristallisieren und möglicherweise flüchtige Elemente enthalten, z.B. das *OH-Molekül*, das üblicherweise im Mondgestein nicht vorhanden ist, wie *Olivin*, *Pyroxen* und andere. Hier existieren Ähnlichkeiten mit der Erde.

Die Existenz und das Vorkommen von flüchtigen Stoffen und Wasser auf dem Mond besitzen Einfluß auf den Prozeß wie Magma schmilzt, kristallisiert und das Verhalten während Vulkanausbrüchen.

Der junge Mond

Unser gegenwärtiges Verständnis der Entwicklung von jungen Planeten, beispielsweise die Bildung einer primären Kruste, basiert hauptsächlich auf Ergebnissen der frühen Geschichte des Mondes. Die allgemein akzeptierte Meinung hierzu beinhaltet, daß der junge Mond während des Impakts einen global existierenden **Magmaozean** besaß.

Die Kristallisierung dieses Ozeans ist für die Entstehung des Mantels und der Kruste des Erdtrabanten verantwortlich. In diesem Modell kristallisieren eisen- und magnesiumhaltige Mineralien (wie Olivin und Pyroxen) als erstes. Anschließend sinken sie hinab und bilden schließlich den Mantel. – © geologyin.com

Anschließend sinken weitere Kristalle ebenfalls hinab und bilden die primäre Mondkruste.

Diese Kruste kann man noch immer beobachten, sie macht sich als helle lunare Hochlandbereiche bemerkbar. Insbesondere die Gesteinssammlung von Apollo 16 hat zu diesem Thema beigetragen.

Geophysikalische Experimente

Die Apollo-Missionen beinhalteten ebenfalls zahlreiche geophysikalische Experimente, beispielsweise passive und aktive *Seismologie*, *Oberflächengravimetrie*, *Magnetometrie* und die Platzierung von *Laser-Reflektoren*. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen weisen darauf hin, daß der Mond eine Kruste, einen Mantel und einen Kern besitzt.

In diesem Bereich hat die Entdeckung von Mondbeben durch die seismischen Stationen (Apollo 12, 14, 15, 16) zur Abschätzung der **Dicke der Mondkruste** beigetragen. – © NASA/GRAIL

Die Dicke beträgt wahrscheinlich zwischen 30-38 Kilometern, in guter Übereinstimmung mit Daten der GRAIL-Mission.

Impaktkrater

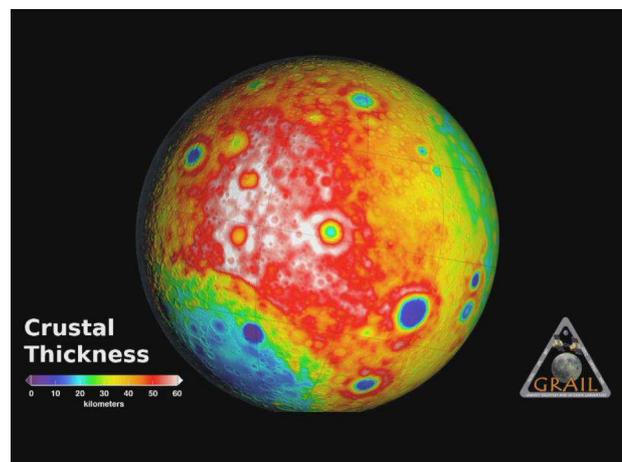
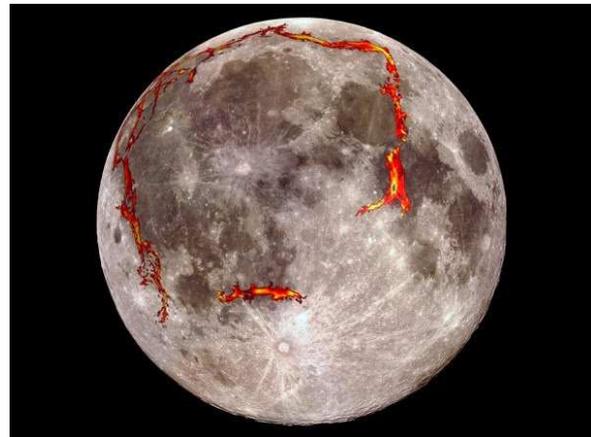
Der Mond ist der einzige Himmelskörper des Sonnensystems, bei dem man **Impaktkrater** am besten untersuchen kann.

Dennoch existiert eine Kontroverse zur frühen Impaktgeschichte des Mondes. Frühe Untersuchungen der Apollo-Gesteine wiesen darauf hin, daß eine intensive Periode von Bombardements vor rund 3,9 Milliarden Jahren während dem sog. *Late heavy bombardment* stattgefunden hat. Während einer derartigen Epoche wären die Kruste, die frühe Atmosphäre und *Hydrosphäre* deutlich verändert worden, zudem hätte sie Einfluß auf die dynamische Entwicklung des Sonnensystems gehabt, insbesondere im Hinblick auf die gegenwärtigen Positionen der *Riesenplaneten*. In der Gegenwart wird dieses Modell kritisch hinterfragt. Hier sind Altersbestimmungen von Kratern von *Merkur* bis *Pluto* von Bedeutung.

Der neue Ansatz basiert auf dem Prinzip, daß eine neue Oberfläche keine Krater, eine alte Oberfläche jedoch zahlreiche Krater besitzt. In diesem Zusammenhang besitzt der Mond eine Sonderstellung.

Die Außenwirkung

Das Apollo-Programm hat die Gesellschaft bis heute beeinflusst. Hierzu gehört beispielsweise die Aufnahme vom Aufgang der Erde von Apollo 8. Zudem wurde der technologische Fortschritt auf der Erde positiv beeinflusst.



Der Star unter den Apollo-Missionen ist **Apollo 11**; wahrscheinlich haben mehr als 600 Millionen Menschen *Neil Armstrongs* ersten Schritt auf die Mondoberfläche verfolgt. Jedoch wurde das öffentliche Interesse im Laufe weiterer Missionen geringer. Der Vietnamkrieg schon sich in den Vordergrund. Die Mondspaziergänge von *Apollo 17* im Jahre 1972 wurden nicht mehr vollständig übertragen.

Dennoch brachten die Fortschritte in der Computertechnik und die stets kleiner werdenden Computer der NASA positive Effekte in gewöhnlichen Haushalten oder bei der Behandlung nach Sportunfällen. Weitere Beispiele für die Inkludierung von Raumfahrttechnik sind beispielsweise Techniken wie das MRT, in der Löschung von Großbränden, das Isolationsmaterial in der Medizin (Rettungsfolie), die Entwicklung von Moon Boots, neue Materialien im Sport, beispielsweise im Bereich der Schockabsorption, neuartige Dachkonstruktionen in Sportstadien, kabellose Apparate und vieles mehr.



Die Apollo-Missionen trugen weiterhin zu routinemäßigen Starts von Satelliten bei; insgesamt befinden sich rund 5.000 Satelliten in Erdumlaufbahnen. Viele der Satelliten haben die irdische Kommunikation verbessert, außerdem die Kartographie unseres Planeten oder die Navigationssysteme.

Das Ende von Apollo

Nach dem Start von *Apollo 17* wurde das Programm eingestellt; ursprünglich waren weitere Missionen bis *Apollo 20* geplant. Dennoch bildete das Apollo-Programm die Basis für die moderne wissenschaftliche Erforschung von Planeten und des Weltraums.

Die NASA bewegte sich anschließend weg von der Erforschung des Mondes. Unbenutzte Apollo-Module wurden für den Transport von Astronauten in die **Skylab-Station** benutzt, die erste bemannte Raumstation. – © Skylab/MIR/ISS (NASA)



Trotz ihres kontrollierten Absturzes im Jahr 1976 legte sie den Grundstein für die spätere **Mir-Raumstation** und die **Internationale Raumstation ISS (International Space Station)**. Ende der 70-er Jahre entwickelte die NASA das **Space Shuttle** mit seinem Jungfernflug im Jahr 1981. Seitdem waren es vor allem die Vereinigten Staaten und Rußland, die mit bemannten Raumflügen fortfuhren.



Die erste Frau im Weltall war *Helen Sharman*, sie besuchte 1991 die Mir-Raumstation.

Anschließend folgten zahlreiche Weltraummissionen wie die *Rosetta-Mission*, verschiedenen Marsmissionen, *SMART-1* (ESA), die indische Mission *Chandryaan-1* zum Mond, *BepiColumbo* zum Merkur (ESA) und viele mehr.

Rückkehr zum Mond

Eine mögliche Rückkehr zum Mond soll nicht nur ausstehende wissenschaftliche Fragen zu unserem Erdtrabanten oder der Entstehung des Erde-Mond-Systems beantworten, sondern ebenfalls zum Verständnis von Himmelskörpern des inneren Sonnensystems beitragen.

Viele der Missionen der vergangenen Jahre beinhalteten Meßinstrumente in unterschiedlichen Wellenlängen, beispielsweise im *Visuellen*, *Infraroten*, *Röntgengebiet* oder im *Gammastrahlenbereich*.

Auch im Zusammenhang mit dem Mond sammelte man weitere chemische und mineralogische Information, die Oberfläche des Mondes wurde vollständig kartographiert. Beispielsweise wissen wir, daß die erd zugewandte Seite des Mondes sich chemisch gesehen von der mondabgewandten Seite deutlich unterscheidet.

Die Zukunft

Gegenwärtig beschäftigt sich ein US-amerikanisch geführtes internationales Konsortium mit dem sog. *Apollo Next Generation Sample Analysis-Programm (ANGSA)*, um mithilfe spezieller Apollo-Gesteine neue Ziele bei der Erforschung des Mondes zu formulieren.

Die von den Apollo-Missionen auf der Mondoberfläche zurückgelassenen Instrumente spielen noch immer eine wichtige Rolle. Beispielsweise zeigen die passiven *Mondseismometer*, daß der Kern unseres Trabanten teilweise geschmolzen sein könnte; die **Mondbeben** weisen auf eine immer noch anhaltende *tektonische Aktivität*. Beide Effekte helfen den Wärmeverlust von Planeten zu verstehen. Seismometer auf der Mondoberfläche sollen ähnliche Messungen vornehmen.

Weitere Mondmissionen könnten dazu verhelfen dortige lokale Ressourcen zu erforschen, beispielsweise die Extraktion von Sauerstoff und Wasser aus *Regolithgestein*. Krater auf der abgewandten Seite des Mondes oder im Schatten befindliche Krater am Nordpol könnten menschliches Leben auf dem Trabanten ermöglichen. Beispiele hierfür ist die europäische Mission **PROSPECT** im Jahr 2024, die durch Bohrungen *Wassereis* finden soll. – © ESA



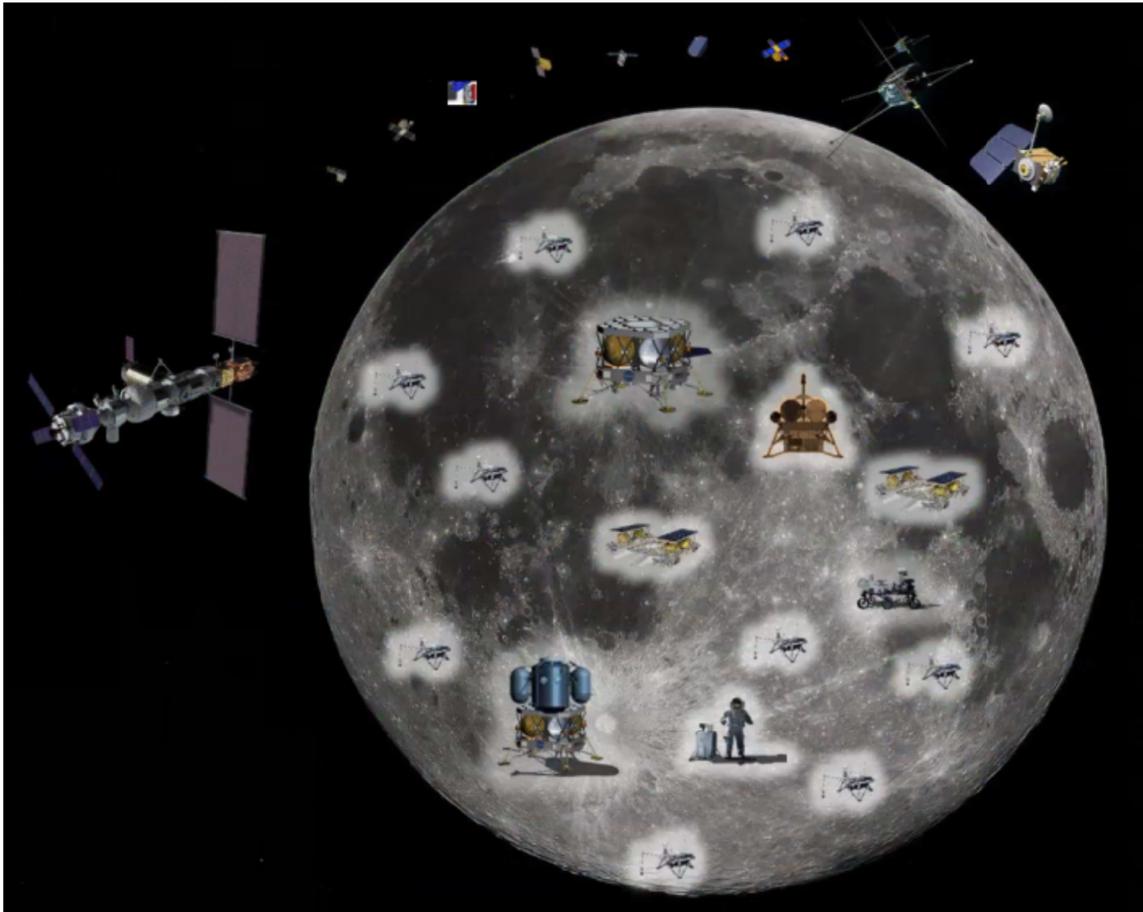
Der Bau einer **Station auf dem Mond** ist eng mit der Konstruktion von Wohn- und Forschungsräumen mithilfe von Regolith verbunden. Mithilfe von *3D-Techniken* und *Mikrowellen-Sintering* kann Regolith aus Baumaterial verwendet werden. – © ESA et al.



Die **Extraktion von Ressourcen** ist ein weiteres wichtiges Thema. Wie aber können wir die Mondoberfläche für zukünftige Generationen schützen? Einige Raumfahrtagenturen, beispielsweise in Luxemburg, wollen die kommerzielle Ausbeutung des Mondes und *Astroiden* gezielt vorantreiben.

Inzwischen arbeiten viele Raumfahrtnationen zusammen: China, Japan oder Südkorea führen Mondmissionen durch, Indien ist bereits einen Schritt weiter. Die Vereinigten Staaten planen die Rückkehr zum Mond im Jahr 2024. Indien ist bereits weithin auf der Mondrückseite im *Von Kármán-Krater* im am Südpol gelegenen *Aitken-Basin* gelandet. Dabei handelt es sich um das größte (Durchmesser 2.500) und älteste (mind. 4,3 Milliarden Jahre) Basin des Mondes.

Mithilfe der kommerziellen Partnerschaften wird wahrscheinlich nicht nur die moderne Weltraum-Ökonomie vorangetrieben, sondern auch die Architektur längerer Missionen auf die Mondoberfläche. – © NASA



Das Apollo-Programm war zwar ein einzigartiges Ereignis in der Geschichte der Menschheit, jedoch inspiriert es uns immer noch im Alltag und bei der Planung unserer Zukunft bei der Erforschung des Weltraums.

Wir sind sehr gespannt, was sich innerhalb der nächsten 50 Jahre im Sonnensystem abspielen wird, möglicherweise führt es uns zu einer permanenten Besiedlung des Mondes.

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

Ihre
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter (yahw)

Quellenangaben

- [1] Mehr Information über astronomische Begriffe
www.wikipedia.de
- [2] www.nasa.gov
- [3] www.esa.int