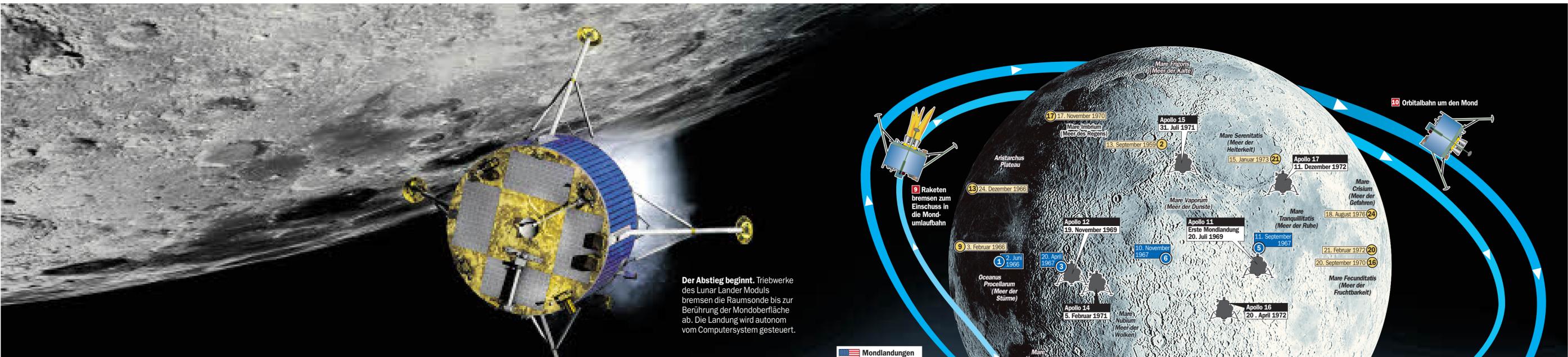


Wissen & Forschen



Der Abstieg beginnt. Triebwerke des Lunar Lander Moduls bremsen die Raumsonde bis zur Berührung der Mondoberfläche ab. Die Landung wird autonom vom Computersystem gesteuert.

Wettflug zum Mond

Die Europäer planen eine technisch komplizierte Landung am Südpol unseres Trabanten. Dort soll ein Roboter nach Wasser und Bodenschätzen suchen

VON THOMAS BÖHRKE (TEXT) UND ISABELLA GALANTY (GRAFIK)

Vor fünf Jahren träumten deutsche Forscher davon, mit einem eigenen Raumschiff den Mond zu erkunden. Daraus wurde nichts. Doch nun stehen die Chancen nicht schlecht, dass Europa mit vereinten Kräften den Sprung wagt. Das Raumfahrtunternehmen Astrium in Bremen hat für die Europäische Weltraumorganisation ESA eine Mondlande-Studie erstellt, über die der Ministerrat im November diskutieren wird. Neben den Europäern planen auch China, Indien und Japan neue Missionen zum Erdtrabanten. Ihnen geht es um den Beweis, dass sie technologisch zum Westen aufgeschlossen haben.

Schon vor einem halben Jahrhundert sind US-amerikanische und sowjetische Raumsonden auf dem Mond gelandet. Doch für den European Lunar Lander haben die Forscher und Raumfahrt-Ingenieure einen ganz speziellen Landeplatz ausgesucht: die unerforschte Südpolregion. „Hier kann Europa die Technologien demonstrieren, die für zukünftige Missionen zum Mond, aber auch zum Mars nötig sein werden“, sagt der Leiter der Astrium-Studie, Peter Kyr.

Die lunare Antarktis bietet den Mondforschern eine Eigenart, die sich sonst nir-

gends findet: ewiges Licht. Auf dem Mond herrschen fast überall abwechselnd zwei Wochen lang Tag und Nacht. Soll eine Raumsonde längere Zeit arbeiten, so muss sie die 14-tägigen Dunkelphasen überstehen, bei denen die Temperatur auf bis zu minus 160 Grad Celsius sinkt. Ein derzeit technisch unüberwindbares Problem, zumindest für die ESA, die keine Radioisotopen-Generatoren verwendet.

Am Südpol gibt es jedoch einige Berge, auf deren Gipfeln die Sonne nie untergeht. Diese Gebiete haben die Mondforscher mit Bildern und Messdaten des Lunar Reconnaissance Orbiter der Nasa identifiziert. Das Problem ist allerdings: Es handelt sich um nur wenige Zehn Meter breite und hundert Meter lange Grate. „Wenn die Landung nicht genau klappt, steht die Sonde vielleicht komplett im Dunkeln“, sagt Mondforscher Harald Hiesinger von der Universität Münster.

Auf Hilfe von der Erde kann der Lunar Lander nicht hoffen, denn er muss vollautonom agieren. Die insgesamt eine Stunde dauernde Abstiegsphase wird aus einer Höhe von hundert Kilometern in mehreren Stufen erfolgen. Der Bordcomputer vergleicht dabei ständig die aktuellen Aufnahmen der Oberfläche mit gespeicherten Karten und bringt das Fahrzeug langsam in Bodennähe. „Die letzten 90 Sekunden sind da-

bei besonders kritisch“, sagt Kyr. Auf den derzeitigen Aufnahmen lassen sich nämlich kleinere Felsen, Mulden und Abhänge nicht mehr erkennen. Hier muss der Computer eigenständig navigieren und eine geeignete Landestelle finden. „Wenn die von uns ausgewählte Stelle nicht geeignet ist, kann der Lander im Radius von einigen Hundert Metern einen anderen Ort suchen“, so Kyr.

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) betreibt für dieses Unternehmen in seinem Institut für Raumfahrtssysteme in Bremen eine Simulationsanlage. Außerdem bauen die Ingenieure auf ihre Erfahrungen mit dem Steuerungssystem des europäischen Raumfrachters ATV, der autonom an der ISS andocken kann.

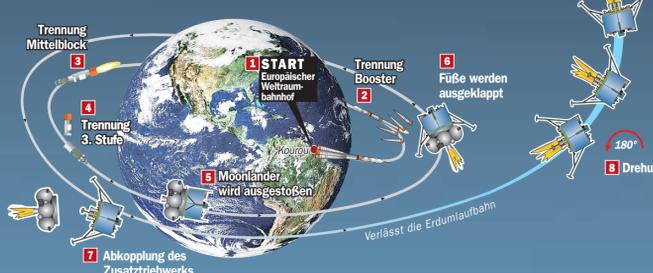
Selbst wenn der Lander einen optimalen Platz findet, ist noch nicht garantiert, dass er auch immer Licht empfängt. Die Sonne steht nur wenige Grad über dem Horizont, wird deshalb lange Schatten und wandert in vier Wochen einmal um die Sonde herum. Deshalb wird es sich kaum vermeiden lassen, dass die Sonne auch einmal hinter einem Berg oder einem nahen Felsen verschwindet. Für diesen Fall muss eine Batterie für ein bis zwei Tage Strom liefern können. Auch die Erde wandert am Horizont entlang, wird aber wegen der Neigung der Umlaufbahn immer wieder für zwei Wochen unter den

Horizont sinken. In diesen Phasen muss der Lander autonom weiterarbeiten. Auch ein kleines Fahrzeug ist geplant, das die Umgebung erkunden könnte.

Aus wissenschaftlicher Sicht ist vor allem die Frage nach der Entstehung des Mondes interessant. Gesteinsanalysen könnten hier weitere Anhaltspunkte liefern. Nicht zuletzt wird die Frage heiß diskutiert, ob unter der Oberfläche Wassereis und Bodenschätze existieren. Für mögliche zukünftige bemannte Mondbasen zentrale Fragen.

Wenn der ESA-Ministerrat im November grünes Licht gibt, kann das Projekt in die nächste Phase übergehen. Ende 2014 wird dann endgültig über die Realisierung entschieden. Vier Jahre später könnte die erste europäische Sonde auf dem Mond landen.

Auch andere Nationen haben den Erdbelegter als Ziel auserkoren. China hat bereits mit den beiden Sonden Chang'e-1 und -2 die Oberfläche aus der Umlaufbahn kartografiert. Als Nächstes sollen ein Rover abgesetzt und vielleicht bis Ende dieses Jahrzehnts Bodenproben zur Erde geschickt werden. Auch Indien hat bereits eine Sonde in eine Mondumlaufbahn geschickt und will zusammen mit der russischen Weltraumbehörde einen Lander mit einem Fahrzeug auf der Oberfläche absetzen. Das gleiche Ziel verfolgt zudem die japanische Weltraumbehörde.



Chang'e-2 ist die zweite Mondsonde der Volksrepublik China (2010–2012). Mit ihr wird die Mission Chang'e-3 vorbereitet, die im kommenden Jahr eine weiche Landung vorsieht.

Smart-1 Die erste Raumsonde der ESA umrundete den Mond von 2004 bis 2006. Als Antrieb diente ein neuartiges Xenon-Ionentriebwerk.

Chandrayaan-1 Indien startete seine erste Mondsonde im Oktober 2008. Eine Tochtersonde schlug hart auf der Mondoberfläche auf. Im August 2009 brach nach mehr als 3 400 Mondumrundungen der Funkkontakt ab.

LRO Der Lunar Reconnaissance Orbiter der US-Raumfahrtbehörde Nasa kartiert seit Juni 2009 die gesamte Mondoberfläche. Die Kamerabilder sind so hochauflösend, dass die Landeplätze aller Apollo-Missionen samt den Fußspuren der Astronauten veröffentlicht wurden. Auch das 1973 gelandete sowjetische Mondmobil Lunochod 2 ist auf den Aufnahmen zu sehen.

DEN MOND UMKREISEN:



Das europäische Raumschiff verlässt die Umlaufbahn um die Erde.



Nachdem die Mond-Umlaufbahn erreicht ist, beginnt der automatische Landeanflug.



Falls die Landung am Südpol gelingt, sind wissenschaftliche Untersuchungen mit Blick auf spätere bemannte Missionen geplant. Im Bild die Entnahme von Bodenproben.

Welten im Zusammenstoß

Vor 4,5 Milliarden Jahren kollidierte die frühe Erde mit einem Mars-großen Himmelskörper. Es war die Geburtsstunde von Erde und Mond

Der Crash im frühen Sonnensystem war gewaltig. Die gerade mal einige Zehn Millionen Jahre alte Erde kollidierte mit einem Planeten, genannt Theia, der mindestens so groß wie der Mars war. Beide Objekte waren noch teilweise geschmolzen und die schweren Elemente zum Zentrum abgesunken, wo sie einen metallischen Kern bildeten. Theias Aufprall zerstörte die Krusten beider Körper und schleuderte Gestein und Staub in den Weltraum. Ein Teil des Materials beider Körper blieb in der Erdumlaufbahn und verdichtete sich zum Mond. Die Eisenarmut des Mondes ließ unter anderem durch dieses Szenario erklären. Es stammt von William Hartmann und Donald Davis vom Planetary



Glutflüssige Kugeln: Im frühen Sonnensystem ging es noch extrem chaotisch zu.

Science Institute in Tucson und ist heute die von Planetenforschern favorisierte Theorie zur Entstehung des Mondes.

In den vergangenen Jahren haben Forscher aber herausgefunden, dass die Häufigkeiten der Isotope von Sauerstoff, Silizium und anderen Elementen identisch sind. Wenn der Mond tatsächlich zu 80 Prozent aus Theia-Material besteht, wie die Modelle vorhersagen, müssten Theia und die Erde eine nahezu identische Isotopenhäufigkeit gehabt haben. Das aber erscheint den Forschern ausgeschlossen.

Lösen ließe sich das Problem, wenn bei dem damaligen Einschlag ausschließlich das Erdmaterial in der Umlaufbahn verblieben

wäre und sich zum Mond verdichtete, während Theias Gestein in den Weltraum geschleudert wurde.

Kürzlich haben drei Forschergruppen dazu Computersimulationen veröffentlicht. Demnach war Theia größer als bisher angenommen, und die beiden Körper stießen frontaler zusammen. Außerdem könnte sich die Erde wesentlich schneller gedreht haben als heute, sodass ein Tag nur zwei bis drei Stunden dauerte. Diese Annahmen führten zu dem Effekt, dass Theias Material bei dem Einschlag fast vollständig in All geschleudert wurde, während sich der Mond aus dem Erdmaterial formte. Damit wäre der Mond ein hundertprozentiges Kind der Erde. (th.)