

Europas erster Mondlander

In Bezug auf den Beitrag „Europas erster Mondlander“ in der Zeitschrift »Sterne und Weltraum« 05/2025, S. 16, WIS-ID: 1571270, Zielgruppe: Mittelstufe – Oberstufe

Olaf Kretzer

Der Mond ist wieder in den Blickpunkt des Interesses der Raumfahrt gerückt. Bahnt sich ein neuer „Wettlauf“ zum Mond an? Es wird sich in den nächsten Jahren zeigen - nur dieses Mal sind mehrere Teilnehmer im Rennen. Dazu gehören nicht nur staatliche Raumfahrtorganisationen, sondern auch private Missionen. Was hat diesen neuen Run zum Mond ausgelöst? Welche Projekte stehen auf der Roadmap der nächsten Jahre? Welche Möglichkeiten bieten sich für den Einsatz der neuen Erkenntnisse im Unterricht an? Es bleibt spannend!

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Himmelsmechanik	<u>Finsternistypen</u> <u>Okkultationen</u> <u>Gezeiten</u>
Physik	Sonnensystem	<u>Mondsonden</u> <u>Kosmische Geschwindigkeiten</u> <u>Drehimpulserhaltungssatz, Gravitation</u>
Mathematik	Algebra	<u>Äquivalenzumformungen, Potenzdarstellung</u>
Deutsch	Literatur	<u>Phantastische Literatur</u> <u>Anfänge Weltraumliteratur</u>
Fächerverknüpfung	Astronomie-Philosophie Astronomie-Biologie	<u>Erste Gedanken über außerirdisches Leben</u> <u>Spekulationen über Lebensformen</u>
Lehre allgemein	Kompetenzen	<u>Wissenserweiterung Mond-Erde Wechselwirkungen</u>



Abbildung 1: Größenverhältnisse von Erde und Mond (Quelle: NASA , [Moon Earth Comparison](#), Lizenz: gemeinfrei).

Überblick

Der Mond ist ohne Zweifel das auffälligste Objekt des Nacht- und Tageshimmels! Seine Größe, sein variables Aussehen aber auch seine Rolle bei Verfinsterungen haben ihn schon immer in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Hinzu kam seine Rolle als Zeitmaßgeber und die Tatsache, dass er der einzige Himmelskörper ist, bei dem ohne Probleme Oberflächenstrukturen mit bloßem Auge erkennbar sind. Bereits im Altertum war darüber hinaus bekannt, dass er das uns am nächsten gelegene Himmelsobjekt sein muss.

Diese Gründe (und einige andere beispielsweise aus Kunst, Religion etc.) führten bereits früh dazu, dass der Mond ein Ziel der Menschheit wurde. Zuerst nur in Mythen und Phantasien und später dann aber auch in wissenschaftlich fundierten Untersuchungen und Plänen. Nachdem das Raumfahrtzeitalter anbrach, rückte der Mond daher schnell in den Fokus der ersten Missionen ins All. Bereits zwei Jahre nach dem Start des ersten künstlichen Himmelsobjektes – 1957 Sputnik 1 – gelangen Aufnahmen von der Rückseite des Mondes, die von der Erde aus nicht beobachtbar ist. Zehn Jahre danach stand der erste Mensch auf dem Mond. Nach Abschluss der Apollo Missionen wurde es ruhiger um und auf dem Mond. Aber in den letzten Jahren nahm die Raumfahrt zum Mond einen enormen Aufschwung. Daraus ergeben sich verschiedene Fragen: wieso „ruhte“ die Raumfahrt zum Mond so lange? Was sind die Schwierigkeiten auf dem Mond auch zu landen? Wird Europa nun auch eine „Mondnation“?...

1. Der Mond – ein Steckbrief

Der Mond ist unser Nachbar im All mit einer durchschnittlichen Erdentfernung von 384.000 km. Aktuelle Theorien gehen von einem Alter von knapp 4,5 Mrd. Jahren aus. Diese Zahl ist allerdings noch in der Diskussion und beruht zum großen Teil auf Altersbestimmungen mit Hilfe von Mondgestein, welches zur Erde gebracht wurde. Die vermutliche Ursache seiner Entstehung war der Zusammenstoß der frühen Erde mit einem ca. marsgroßen Objekt – Theia.

Von allen zurzeit (04/2025) bekannten 288 Monden des Sonnensystems hat er wahrscheinlich als Einziger so eine dramatische Entstehungsgeschichte. Viele Fragen seiner Entstehung und weiteren Entwicklung sind aber immer noch offen und so sind weitere, tiefer gehende Untersuchungen dringend erforderlich. Der Entstehungsweg des Mondes hatte aber tiefgreifende Konsequenzen für die weitere Entwicklung der Erde. Ein massereiches Objekt in der unmittelbaren Nähe der Erde – die gravitativen Wirkungen, die direkt oder indirekt auf die Erde wirkten, beeinflussten ihre Entwicklung drastisch. Kein anderer Planet des Sonnensystems hat ein so außergewöhnliches Masseverhältnis zu seinem Mond wie das System Erde – Mond (außer dem ehemaligen Planeten Pluto zu seinem Mond Charon).

Im System Erde-Mond gilt der Drehimpulserhaltungssatz – insofern man das System als abgeschlossen ansieht. Die Verteilung der einzelnen Anteile ist in Tabelle 1 aufgeschlüsselt.

Tabelle 1: Drehimpulsanteile des Erde-Mond-Systems

Gesamt		$3,49 \cdot 10^{34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	100%
Mond	Eigendrehimpuls	$2,33 \cdot 10^{29} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	–
	Bahndrehimpuls	$2,87 \cdot 10^{34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	82,2%
Erde	Eigendrehimpuls	$5,85 \cdot 10^{33} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	16,8%
	Bahndrehimpuls	$3,53 \cdot 10^{32} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	1,0%

Die Gezeitenreibung beeinflusst den Betrag des Drehimpulses. Der Mond bremst die Erde ab und verringert dadurch den Eigendrehimpuls der Erde – sie wird langsamer. Verschiedene Modelle zur Simulation der Tageslänge der Erde gehen daher davon aus, dass die Erde ursprünglich eine Rotationsperiode von ca. 10 h hatte. Da die Erde mit ihrer 81mal größeren Masse einen wesentlichen stärkeren Einfluss auf den Mond ausgeübt hat, erleben wir aktuell eine gebundene Rotation des Mondes – wir sehen nahezu nur eine Seite des Mondes. Wenn der Mond sich einmal um sich selbst dreht, dreht

er sich auch einmal um die Erde. Durch leichte Schwankungen (Libration in Länge und Breite) der Mondbewegung sind wir in der Lage ca. 59% der Mondoberfläche zu sehen. Der Blick auf die Rückseite bleibt uns dagegen von der Erde aus verwehrt.

Um die sich ergebenden Fragen nach der Entstehung des Mondes (wie, wann...) und seinem heutigen Zustand (Mondinneres: Temperatur, Konsistenz...) beantworten können, benötigt man Material des Mondes von verschiedenen Stellen und direkte Messungen vor Ort – auf dem Mond. Dies kann nur durch unbemannte sowie zunehmend auch bemannte Missionen zum Mond realisiert werden. In den letzten Jahren nahm die Anzahl die Missionen stark zu – auch die Pläne für die nächsten Jahre zeigen eine weitere Steigerung und Intensivierung der Mondmissionen. Dabei fällt auf, dass nicht nur wie bisher die „klassischen“ Raumfahrtnationen beteiligt sind, sondern auch Nationen die bisher keine Raumfahrtgeschichte haben. Hinzu kommen auch erste private Missionen zu unserem Nachbarn im All. Auffallend ist, dass zunehmend nicht nur Missionen für einen Flug zum Mond oder um den Mond im Fokus stehen, sondern Landungen auf dem Mond. Die Menschheit kehrt zurück zum Mond – und dieses mal wird sie wohl bleiben.

2. Anfänge der Literatur des Mondflugs – die mystisch-phantastische Zeit

Die ersten literarischen „Pläne“ für eine Fahrt ins All und dabei natürlich auf zu unserem Nachbarn im All, sind schon sehr alt. Als ein erster Vorläufer der SciFi Literatur kann Lukian von Samosata (120 – ca. 200) angesehen werden. Sein Werk „Wahre Geschichten“ wird oft als erstes der Science-Fiction angesehen – oder zumindest als ein Vorläufer dieses Genres. Der parodistische Bericht einer Reise durch den Weltraum mit dem Treffen auf außerirdische Lebensformen aber auch den ersten interplanetarischen Kriegen beinhaltet natürlich auch eine Landung auf dem Mond – und ein Treffen mit den Mondbewohnern. Diese sprechen (selbstverständlich?) Griechisch und sind gerade in einen Krieg mit den Bewohnern der Sonne verwickelt. Nahezu gleichzeitig, die genaue Reihenfolge ist noch nicht geklärt, erschien der Roman „Wunderdinge jenseits von Thule“ von Antonios Diogenes (wahrscheinlich 2. Jahrhundert n. Chr.) von dem außer einer Inhaltsangabe und einzelnen Resten nichts mehr vorhanden ist. Auffällig in vielen der „Anfangsromane“ der Science-Fiction ist die Selbstverständlichkeit, dass auf anderen Welten Lebewesen anzutreffen sind. Es scheint sogar so zu sein, dass es der Normalfall ist, dass die Himmelskörper bewohnt sind. Selbst große Astronomen wie der deutsch-britische Astronom Wilhelm Herschel (1732–1822), der 1781 den Uranus entdeckte, glaubten sogar, dass die meisten Himmelskörper bewohnt wären – selbst die Sonne!

Ein anderer Autor eines Weltraumromans ist gemeinhin als einer der bedeutendsten Wissenschaftler anzusehen – Johannes Kepler (1550–1631). Dieser bekannte Astronom schrieb ab 1609 an seinem phantastischen Werk „Somnium“ – Keplers Traum vom Mond. Veröffentlicht wurde das Werk in Latein erst posthum durch seinen Sohn Ludwig Kepler (1607–1663) im Jahre 1634, die erste deutsche Übersetzung erfolgte erst 1889. Auch Kepler beschreibt mystische Wege, um zum Mond zu gelangen – hier als Insel Levania bezeichnet – und darüber verschiedenen Rahmenhandlungen bei denen allerdings auch astronomische Fakten und Zusammenhänge in das Werk integriert werden. So schreibt er richtig die beschleunigte Bewegung eines Objektes bei Annäherung an den Mond: „Aber infolge der bei Annäherung unser Ziel stets zunehmenden Anziehung würden sie durch zu harten Anprall an den Mond Schaden leiden, deshalb eilen wir voran und behüten sie vor dieser Gefahr“.

Nahezu gleichzeitig, 1638, erschien ebenfalls posthum das Werk „Der Mann im Mond“ von Francis Godwin (1562–1633). Auch in diesem Roman wurde damals geführte wissenschaftliche Diskussionen zu Astronomie, Mathematik etc. verbunden mit einem phantastischen Reisebericht der u. a. ein Treffen mit den Mondbewohnern, den Lunariern, als zentralen Höhepunkt besaß. Der erste auf Deutsch erschienene Roman war dann schließlich der 1744 veröffentlichte Bericht: „Die Geschwindige Reise auf dem Lufft-Schiff nach der obern Welt“ von Eberhard Christian Kindermann (1715-?). Der Autor war ein astronomischer Autodidakt der aus finanziellen Gründen kein Studium abschließen konnte, wirkte aller-

dings u. a. als kursäsischer Hofastronom und Mathematiker. Er veröffentlichte verschiedene Fachartikel zur Astronomie wie beispielsweise über die Natur der Kometen anhand der Kometensichtung von 1746. Weitere phantastische Schriftsteller wandten sich in dieser Zeit der Reise zum Mond zu. Genannt seien hier nur einige bekannte Vertreter:

- 1786: Gottfried A. Bürger (1747–1794): „Wunderbare Reise zu Wasser und zu Lande, Feldzüge und lustige Abenteuer des Freyherrn von Münchhausen“
- 1809: Washington Irving (1783–1859): The men of the moon
- 1838: H. C. Anderson (1805–1875): Die Galoschen des Glücks

Die Liste ließ sich noch fortführen – das Thema Mondreisen war in der mystische-phantastischen Literatur angekommen. Die Zeit war reif für den Übergang zu einer wissenschaftlichen Sicht auf die Reise zum Mond und zu anderen Himmelskörpern.

2. Wissenschaftliche Beschreibungen des Flugs ins All und zum Mond

Die Entwicklung hin zur wissenschaftlichen-phantastischen Literatur wurde dann schließlich von einem französischen Autor gegeben – Jules Verne (1828–1905). Gemeinsam mit H. G. Wells (1866–1946) der seine großen Romane „Krieg der Welten“ 1897 bzw. „Die Zeitmaschine“ 1895 veröffentlichte und Kurd Laßwitz (1848–1910) – dem Begründer der deutschsprachigen Science-Fiction mit seinem Roman „Auf zwei Planeten“ aus dem Jahre 1897 – gilt Jules Verne als Mitgründer der Science-Fiction. Seine wissenschaftlich fundiert geschriebenen Romane basierten auf dem damals aktuell vorhandenen Stand der Wissenschaft und Technik. Für die Geschichte des Flugs zum Mond sind seine Romane „Von der Erde zum Mond“ (1865) und „Reise um den Mond“ (1869) von großer Bedeutung. Die beiden Bücher sind zusammenhängend zu betrachten. Die Grundidee des Flugs ist der Abschuss einer großen Granate aus einer Riesenkanone, um auf diese Weise Raumfahrer zum Mond zu bringen. Der Flug zum Mond wird anhand wissenschaftlicher Argumentationen beschrieben. Das dabei noch einige fachliche Fehler auftreten ist nicht verwunderlich, stehen wir doch mit diesem Romanen erst am Anfang der Beschreibung des Raumflugs in der Literatur.

Mit der Wende zum 20. Jahrhundert erschienen die ersten wissenschaftlichen Veröffentlichungen zu den Grundlagen einer zukünftigen Raumfahrttechnik. Veröffentlicht wurden sie von Wissenschaftlern mit sehr unterschiedlichem wissenschaftlich-technischem Hintergrund und mit unterschiedlicher Ausstrahlung. Diese Anfänge sind fest verbunden mit den Namen von:

- Konstantin Eduardowitsch Ziolkowski (1857–1935)
- Robert Esnault-Pelterie (1881–1957)
- Robert Goddard (1882–1945)
- Hermann Oberth (1894–1989)

Durch die Abschottung Russlands und der späteren Sowjetunion sind die Leistungen Ziolkowskis leider zu Unrecht in Vergessenheit geraten und werden in verschiedenen Publikationen nur zweitrangig behandelt. Dabei war er es, der 1897 die Raketengrundgleichung entwickelte und 1903 in der grundlegenden Publikation „Die Erforschung des Weltraums mit Reaktionsapparaten“ veröffentlichte. In diesem und weiteren Werken schlug er das Mehrstufenraketenprinzip vor, empfahl flüssige Treibstoffe (Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe) und untersuchte die Wirkung der Schwerelosigkeit. Auch die grundlegenden Gedanken zu Weltraumfahrtstühlen oder Sonnensegeln als Antrieb für Raumsonden wurden von ihm ausgearbeitet. Seine Arbeiten waren im Westen nicht bekannt und so wurden viele seiner Entdeckungen erneut gemacht.



Abbildung 2 Titelseite einer Veröffentlichung der Schul- und Volkssternwarte „K.E. Ziolkowski“

Als Beispiel soll hier nur die Raketengrundgleichung dienen welche 1912 von Goddard erneut aufgestellt wurde. Die genannten Pioniere der Raumfahrt und viele weitere schufen die Basis für den Raumflug und ebneten damit den Weg des Flugs zum Mond und der Landung auf unserem Nachbarn im All.

3. Flug zum Mond

Am 04.10.1957 um 19:28 Uhr GMT startete die damalige Sowjetunion im Rahmen des Internationalen Geophysikalischen Jahres 1957–1958 erstmalig einen Satelliten in eine Erdumlaufbahn. Er umkreiste die Erde 92 Tage lang bis er am 04.01.1958 in der Erdatmosphäre verglühte. Damit war der Weg gewiesen für die Raumfahrt zum Mond. Schnell zeigte es sich, dass die damals einzige Raumfahrt betreibenden Länder (USA und UdSSR) sich dabei in einem Wettkampf begaben, wer der Erste auf dem Mond sein würde. Die ersten Versuche der beiden Länder waren allerdings geprägt von Fehlversuchen. Vier Missionen der USA und drei Missionen der UdSSR versagten aus technischen Gründen. Ein erster Teil Erfolg war die am 02.01.1959 gestartete Mission Luna 1 welcher ein Vorbeiflug am Mond erstmals gelang. Luna 2 gelang am 13.09.1959 der erste harte Aufschlag auf dem Mond. Damit gelangte erstmalig ein künstlicher Satellit auf den Mond. Kurze Zeit später gelang der Sonde Luna 3 (auch Lunik 3) die erste Umlaufbahn des Mondes. Bei dieser Mission wurde auch erstmalig das Gravitationsfeld eines Himmelskörpers genutzt, um die Bahn der Sonde zu verändern. Nach Umlaufbahn des Mondes gelang eine Rückkehr zur Erde. Dort umkreiste sie 11mal den Planeten, bevor sie im April 1960 in der Atmosphäre verglühte. Der Funkkontakt endete bereits am 22.10.1959. Lunik 3 konnte 70% der Mondrückseite fotografieren. Allerdings wurden nicht alle Bilddaten übermittelt da die Foto- und Sendetechnik damals noch am Anfang stand. Das erste Foto der erdabgewandten Seite entstand am 07.10.1959.

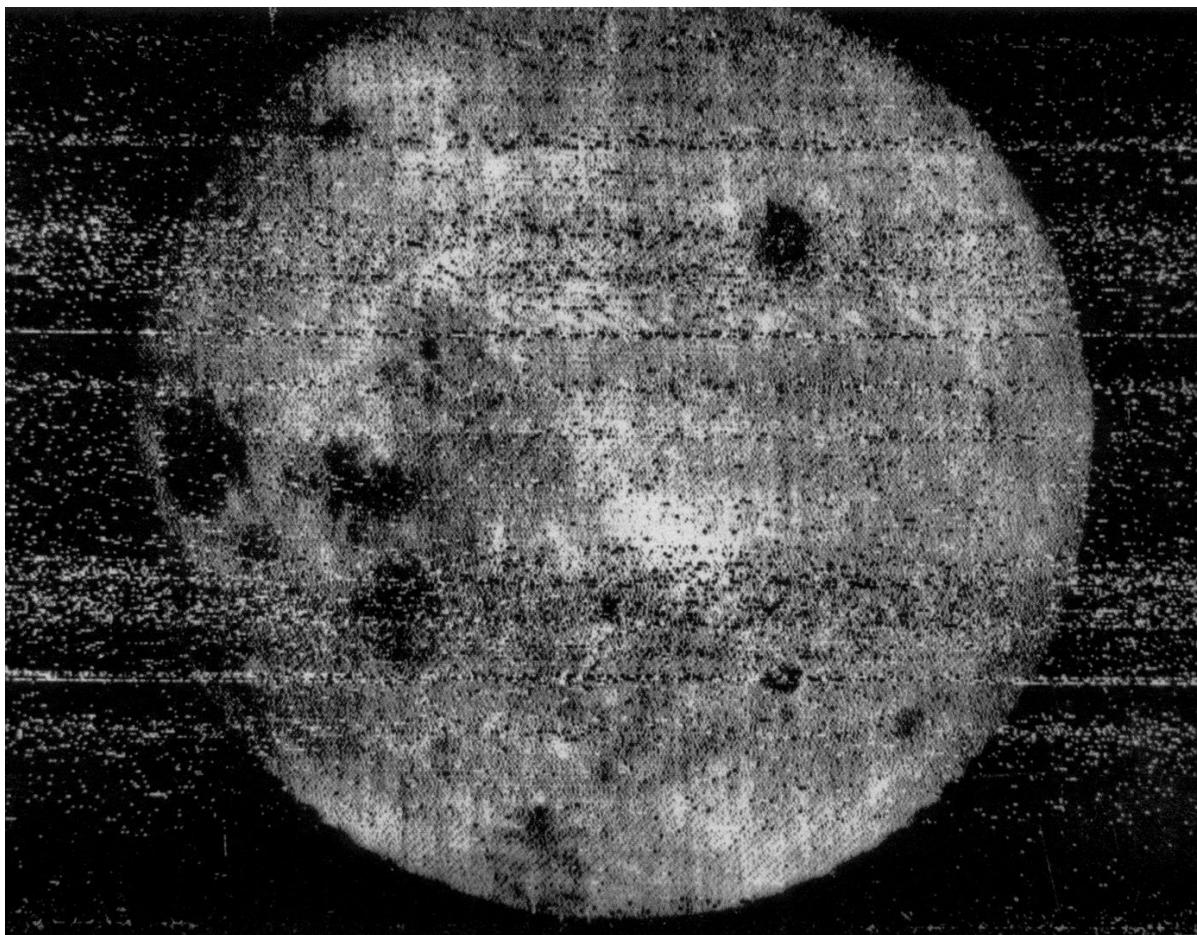


Abbildung 3: Eine der ersten Gesamtaufnahme der erdabgewandten Seite des Mondes. Aufgenommen 1959 im Rahmen der Mission Luna 3 (Lizenz: gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42870638>).

Die USA konnten ihren ersten harten Aufschlag auf dem Mond erst 1962 mit Ranger 4 realisieren. Zwischen diesen beiden ersten “Landungen“ lagen 10 Fehlversuche der beiden Weltraummächte! Der Flug zum Mond war extrem unsicher!

Seit 1963 versuchte die UdSSR eine weiche Landung zu realisieren. Nach 11 (!) Fehlversuchen gelang dies schließlich Luna 9 am 03.02.1966.

Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass der Mond nur 1/81 der Erdmasse besitzt. Dies wiederum bedeutet, dass der Wert der Fallbeschleunigung auf dem Mond nur 1/6 des Wertes der irdischen Fallbeschleunigung beträgt. Für einen Raumfahrer war dies während der Apollo Missionen sehr günstig. Der bei den Missionen Apollo 15 bis 17 benutzte Anzug A7-LB wog inklusive Lebenserhaltungssysteme etc. ca. 90 kg! Dank der reduzierten Schwerkraft eben „nur 15 kg“!

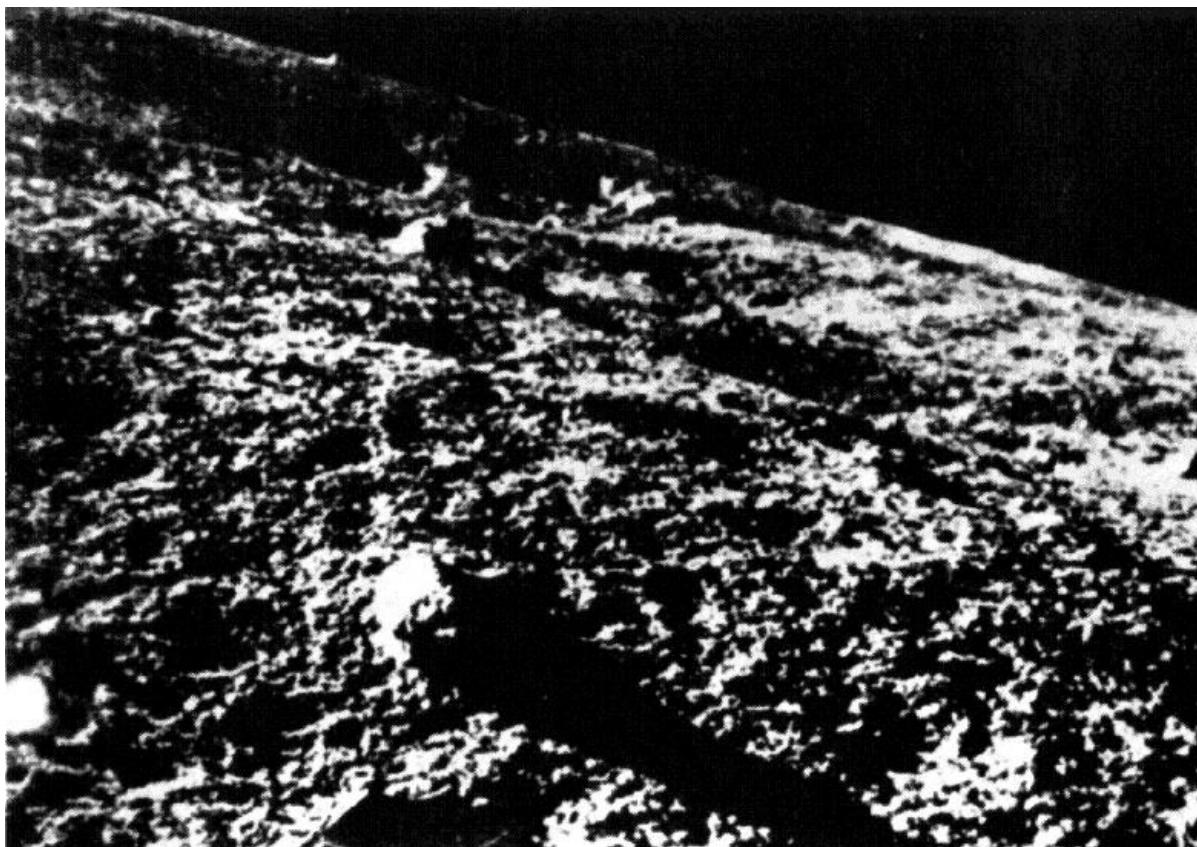


Abbildung 4 Die erste Nahaufnahme der Mondoberfläche. Gewonnen bei der Landung von Luna 9 in der Region des Oceanus Procellarum (Quelle: National Space Science Data Center" (NASA, USA), <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=115625998>, Lizenz: gemeinfrei).

Der erste weiche Mondlander wurde bei Annäherung an die Mondoberfläche durch Rückstoßtriebwerke abgebremst. Es wurden Airbags aufgeblasen, um den Aufschlag zu bremsen. In einer Höhe von 5 m wurden diese abgeschaltet. Die eigentliche Mondsonde wurde herausgeschleudert und eingebettet in ihre Airbags schlug sie einige male auf dem Mondboden auf bevor sie dann mit 22 km/h schließlich letztmalig aufschlug. Die erste weiche Landung im Oceanus Procellarum war gelungen! Die Sonde führte verschiedene Messungen auf der Mondoberfläche durch und fotografierte Mondpanoramen, die sie dann zur Erde sendete. Hier wurde eine Landemethode verwendet, welche die USA später bei den Missionen Pathfinder (1997), Spirit (2004) und Opportunity (2004) erst wieder aufgriff. Ursprüngliche Planungen für die Landung des bemannten Raumschiffes Orion gingen auch von Airbag Unterstützung aus. Dies wurde allerdings später wieder verworfen. Die UdSSR verwendete dieses Landesystem auch bei Luna 13.

Der USA gelang die erste weiche unbemannte Mondlandung am 02.06.1966 mit Surveyor 1. Bei dieser Mission wurde erstmalig eine Abbremsung bis kurz vor der Landung mit Triebwerken erreicht. Der Lander setzte schließlich mit ca. 3 m/s auf dem Mondboden auf. Von der Landestelle von Surveyor 1 wurde von der Mission Lunar Reconnaissance Orbiter eine Aufnahme gemacht. Auf Grund der hohen Auflösung des Kamerasystems von ca. 30 cm wurden auch später die Landestorte der Apollo Missionen alle fotografiert.

Diese weichen Mondlandungen waren beim Wettrennen zum Mond der letzte Erfolg der UdSSR. Der nächste sollte eigentlich die erste Landung von Menschen auf dem Mond werden.

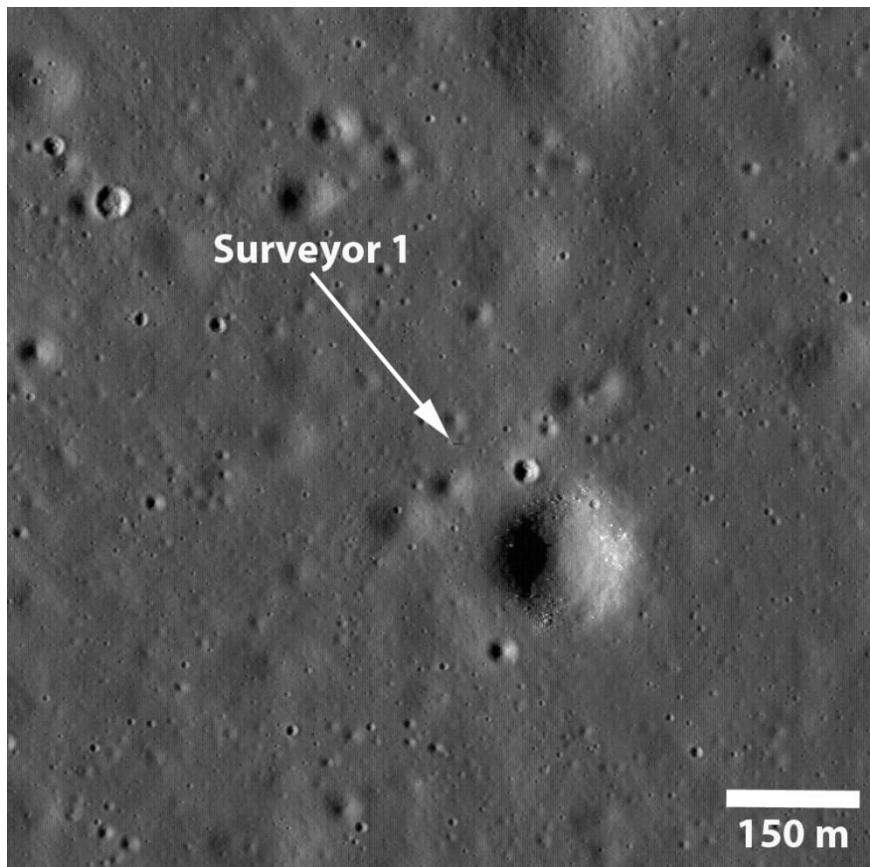


Abbildung 5 Landestelle von Surveyor 1, aufgenommen vom Lunar Reconnaissance (Quelle: NASA, [390497main_surveyor1_enlarged](#), Lizenz: gemeinfrei).

Die sowjetische Raumfahrt kam Mitte der 60er Jahre aus verschiedenen Gründen langsam ins Hintertreffen im Vergleich mit den USA. Ökonomische, aber auch personelle Gründe sorgen dafür, dass schließlich am 20.07.1969 die ersten Menschen auf dem Mond – Neil Armstrong und Edwin Aldrin – Amerikaner waren. Die Landung erfolgte nach der mit Surveyor 1 erstmals getesteten Abbremsung mit Triebwerken. Bei der Landung von Apollo 11 zeigte sich aber auch ein Problem, welches bei späteren Landungen immer wieder auftrat und manchen Missionen zum Verhängnis wurde – die Kenntnis über den Landeort erwies sich von grundlegender Bedeutung. Auch Apollo 11 konnte nur erfolgreich sein da Neil Armstrong den Landeort per Handsteuerung veränderte – der ursprünglich ausgewählte wäre ungeeignet gewesen. Erst nachdem die Landestellen Kontakt auf dem Mond meldeten, wurden die Triebwerke abgeschaltet – zu diesem Zeitpunkt war die Landung mit 0,5 m/s bereits geeglückt.

Mit Luna 16 gelang der UdSSR noch eine Pioniertat der unbemannten Raumfahrt. Die am 12.09.1970 gestartete Mission landete am 24.09.1970 in Kasachstan – mit Mondgestein an Bord, die erste unbemannte Probenrückholmission war erfolgreich abgeschlossen worden. Am 17.11.1970 landete mit Lunochod 1 der erste unbemannte Rover auf einem anderen Himmelskörper. Er legte knapp 10 km zurück und übertrug ca. 20.000 Bilder und machte an verschiedenen Stellen des Mondes Bodenuntersuchungen. Am 15.01.1973 landete schließlich Lunochod 2 auf dem Mond. Dieser Rover absolvierte eine Strecke von 39 km! Nachdem 6 Apollo Missionen auf dem Mond gelandet waren, dreimal unbemannt Gestein zur Erde geholt wurde (Luna 20 und Luna 24) sowie zwei Mondrover auf dem Mond unterwegs waren endete die erste große Periode der Mondraumfahrt. Nachdem Luna 24 am 22.08.1976 mit 170 g Mondgestein zur Erde zurückkam, sollte es bis 1990 dauern bis mit „Hiten“ erstmals wieder eine Sonde auf dem Mond aufschlug. Mit dieser Sonde begann ein neues Zeitalter der Mondforschung, denn das Herkunftsland war Japan!

4. Aktuelle Mondlandungen

Am 31.07.1999 schlug Lunar Prospector (USA) auf dem Mond hart auf. 2007 kamen dann neue Teilnehmer am Rennen zum Mond hinzu. Am 01.03.2009 schlug die erste chinesische Raumsonde Chang 'e 1 auf dem Mond hart auf, am 10.06.2009 schließlich die indische Mission Kaguya!

Die nächste Stufe der forcierten Erkundung des Mondes gelang dann China. Chang 'e 3 landete weich auf der Mondoberfläche und mit dem Mondrover Yutu fuhr der erste chinesische Rover über den Mond. Ihm folgte Chang 'e 4 mit Yutu 2 am 03.01.2019. Einige Wochen später schlug der israelische Lander Bereshet hart auf dem Mond auf.

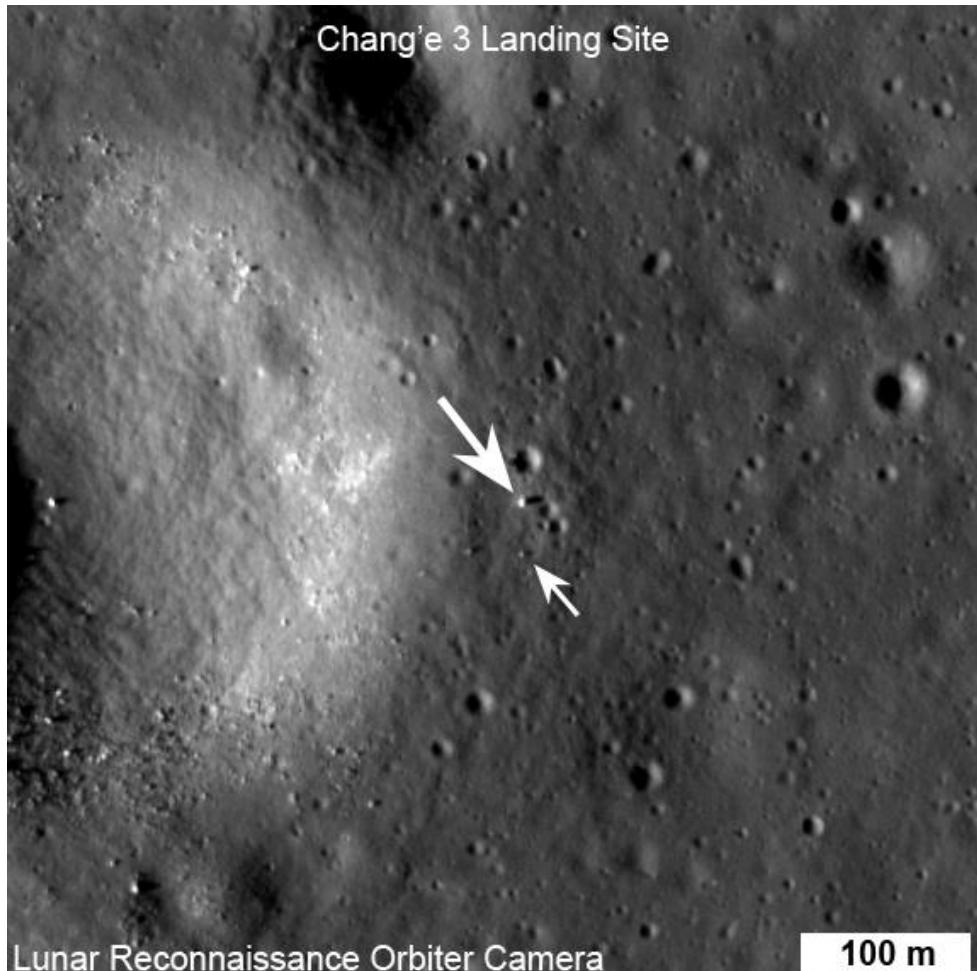


Abbildung 6: Aufnahme vom Lunar Reconnaissance Orbiter: Landeposition Chang 'e 3 Lander (großer Pfeil) und Rover Yutu (kleiner Pfeil) (Quelle: NASA, [Chang'e 3 landing site](#), Lizenz: gemeinfrei).

Mit Chang 'e 5 gelang China dann die erste erfolgreiche Mondgesteinrückholmission. Seitdem gab es wiederholt Landeversuche welche zumeist nicht erfolgreich waren:

- Chandrayaan 2 (Indien): Absturz am 06.09.2019
- Omotenashi (Japan): Lander, kein Kontakt möglich
- Hakuto-RM1 (Japan/VAE): Absturz des Landers und des VAR Rovers Raschid am 25.04.2023
- Chandrayaan -3 (Indien): Lander mit Rover Pragyan – erfolgreich
- Luna 25 (Russland): Absturz 19.08.2023
- SLIM (Japan): Lander mit zwei Kleinroversn, Komplikationen bei der Landung – erfolgreich
- Peregrine Mission One Fa. Astrobotic (USA): Fehlschlag, Rücksturz zur Erde am 18.01.2024
- IM-1 (Intuitive Machines, USA): 15.02.2024. Lander schräg gelandet, nur Teilziele erfüllt
- Chang 'e 6 (China): 03.05.2024: Probenrückholmission – erstmalig von der Rückseite des

Mondes - erfolgreich

- Hakuto_R M2 (Japan): Start am 15.01.2025 – Transport Rover zum Mond, Landung Mai/Juni2025
- Blue-Ghost M1 (Firefly Aerospace, USA): 02.03.2025: weiche Landung – erste erfolgreiche Landung eines Mondlanders einer Privatfirma
- IM-2 (Intuitive Machines, USA): weiche Landung am 06.03.2025, Umkippen des Landers auf Grund ungenauer Landedaten – nach 13 h Stromabschaltung

Diese Übersicht zeigt zum einen den starken Anstieg von Mondlandemissionen in den letzten 5 Jahren sowie die zunehmende Anzahl von Ländern und auch Firmen, die diese Mondmissionen tragen. Weitere Länder wie Südkorea drängen in den „Markt“ der mondfahrenden Nationen. Darüber hinaus werden auch weitere Firmen einsteigen. Der Wettlauf zum Mond ist zu einem Wettbewerb geworden zwischen vielen Teilnehmern. Auffällig ist aber, dass Europa bisher so zurücksteht bei der Erkundung des Mondes. Bisher war die europäische Raumfahrtorganisation ESA erst mit einer Mission beteiligt – dem Orbiter SMART-1 im Jahre 2003 mit einer harten Landung am 03.09.2006. 2026 steht dann ein Kooperationsflug mit der amerikanischen Blue Ghost M2 an. Nun soll 2030 ein europäischer Lander erstmals auf dem Mond landen. Es gibt viel aufzuholen für Europa und aus der Übersicht wird deutlich sichtbar: es ist auch heute noch ein Risiko einen unbemannten Lander sicher zum Mond zu bringen. Es bleibt spannend!

Aufgaben:

1. Die erste kosmische Geschwindigkeit

Als erste kosmische Geschwindigkeit v_1 bezeichnet man diejenige Geschwindigkeit, mit der ein Körper horizontal von der Erdoberfläche abgeschossen werden müsste, um antriebslos auf einer Kreisbahn an der Erdoberfläche zu bleiben, ohne auf die Erdoberfläche zurückzufallen.

Die praktische Bedeutung ist nur ungefähr zutreffend da die Luftreibung noch zu berücksichtigen wäre!

Bestimme die erste kosmische Geschwindigkeit für einen Flug um die Erde!

Ansatz:

$$\frac{v^2}{r} = \frac{G \cdot M}{r^2}$$

$$v_1 = \left(G \cdot \frac{M}{r} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Lösung:

Der Wert der ersten kosmischen Geschwindigkeit beträgt $v_1 = 7,910 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

2. Die zweite kosmische Geschwindigkeit

Als zweite kosmische Geschwindigkeit v_2 bezeichnet man diejenige Geschwindigkeit, mit der ein Körper von der Erdoberfläche abgeschossen werden müsste, um antriebslos das Gravitationsfeld der Erde zu verlassen. Die Eigenrotation der Erde und mögliche Swing-By-Manöver am Mond oder anderen Planeten werden dabei nicht berücksichtigt. Mit dieser Geschwindigkeit können Raumfahrzeuge zum Mond gelangen. Allerdings muss die Geschwindigkeit nicht ganz erreicht werden da r nicht gegen unendlich geht!

Bestimme die zweite kosmische Geschwindigkeit für einen Flug zum Mond!

Ansatz: kinetische Energie gleich der Gravitationsenergie

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{G \cdot M \cdot m}{r}$$

$$v_2 = \left(\frac{2GM}{r} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Lösung

Der Wert der zweiten kosmischen Geschwindigkeit beträgt $v_2 = 11,19 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Berechne das Gewicht eines Astronauten (75 kg) der Apollo 16 Mission inklusive seines Raumanzugs auf dem Mond!
2. Warum konnten die Astronauten trotz der geringeren Schwerkraft keine hohen Sprünge machen?

Der Anzug war zu Sicherheit sehr steif und bestand aus mehreren Schichten. Den Astronauten fiel es daher schon schwer in die Hocke zu gehen. Gleichzeitig waren die Stiefel stark versteift – sie waren noch steifer als Abfahrtsstiefel! Dadurch war es nicht möglich das Sprunggelenk zu nutzen. Untersuchungen ergaben, dass die maximale Sprunghöhe eines Astronauten nur ca. 50 cm betrug.

Weitere WIS-Materialien zur Astronomie und allen ihren Bezügen finden Sie unter der Adresse www.wissenschaft-schulen.de (Fachgebiet Astronomie). Wir würden uns freuen, wenn Sie zum vorliegenden Beitrag Hinweise, Kritiken und Bewertungen an die Kontaktadresse des Autors senden könnten.