

Rückkehr zum Mond

Im Dezember 2022 jährt sich der letzte Besuch von Menschen auf dem Mond zum fünfzigsten Mal. Seitdem gab es zahlreiche unbemannte Mondmissionen, zumeist als Orbiter zur Erkundung der Mondoberfläche aus der Mondumlaufbahn. Dazu kam eine Reihe unbemannter Mondlandungen durch Amerikaner, Russen und Chinesen, teilweise mit der Rückführung von Mondgestein-Proben zur Erde. Auch die mobile Erkundung mit Mondfahrzeugen, sogar auf der Mondrückseite, bildet eine wichtige Aktivität.

Zwischenzeitlich wurden mehrfach Pläne für erneute bemannte Mondflüge angeschoben und wieder fallengelassen. Erst seit 2019 treibt die NASA das Projekt „Artemis“ aktiv voran. Dieses sieht vor, in Zusammenarbeit mit internationalen Partnern erneut Astronauten auf den Mond zu bringen. Wesentliche Ziele, die teilweise auch weiter in die Zukunft reichen, sind:

- Weitere Erkundung des Erdtrabanten und Nutzung der spezifischen Möglichkeiten für die Erforschung des Universums sowie für technologische Entwicklungen,
- Vorbereitung der Nutzung von Weltraumressourcen,
- Vorbereitung künftiger Marsmissionen.

Ein wesentliches Fundament für diese Arbeiten soll die Einrichtung einer Raumstation im Mondorbit und der Bau eines Basislagers auf der Mondoberfläche sein.

Seit 2020 haben die USA im Rahmen des Artemis-Vertrages Abkommen mit zahlreichen Staaten weltweit abgeschlossen. Die neuen Mondmissionen sollen nicht nur Frauen und Farbige als Astronauten einschließen, sondern auch internationaler werden und die Privatwirtschaft verstärkt einbeziehen. In Anbetracht der intensivierten russischen und chinesischen Bemühungen um eigene Mondmissionen ist Artemis nicht nur unter wissenschaftlichen und wirtschaftlichen, sondern auch unter politischen Aspekten bedeutsam.

Im Rahmen des Artemis-Projektes sind z.Z. die folgenden Etappen geplant:

- Artemis 1: Unbemannter Testflug mit Umrundung des Mondes. Ursprünglich geplanter Starttermin war der 29.08.2022 (jetzt wahrscheinlich Ende November 2022).
- Artemis 2: Bemannter Flug mit Mondumrundung, Besatzung: 4 Astronauten, darunter ein Kanadier, Termin nicht vor 2024.
- Artemis 3: Bemannter Flug mit Mondlandung, wahrscheinlich am Südpol des Mondes. Besatzung: 4 Astronauten, von denen 2 auf dem Mond landen sollen, darunter mindestens eine Frau, Termin nicht vor 2025.
- Artemis 4: Bemannter Flug zur Mondumlaufbahn, wo die Montage der Raumstation Lunar Gateway erfolgen soll. Termin nicht vor 2027.

Über weitere Artemis-Missionen bis in die dreißiger Jahre wird nachgedacht, allerdings gibt es hier derzeit noch mehr Unsicherheiten als bei den vorgenannten Missionen.

Die Missionsziele von Artemis 1 beinhalten den Test aller Komponenten unter realen Bedingungen und die Messung der Belastung für Astronauten bei einem bemannten Flug einschließlich der Strahlenwerte im Weltraum.

Artemis 1 beinhaltet folgende technische Hauptkomponenten und Abläufe (<https://www.scinexx.de/news/kosmos/artemis-1-aufbruch-zum-mond/> und https://rp-online.de/panorama/wissen/weltraum/artemis-fliegt-zum-mond-was-beim-start-passiert-und-ziele-der-mission_aid-75721933):

Als Trägerrakete kommt das neue Space Launch System (SLS) zum Einsatz (**Bild 1**). Die ca. 100 m hohe zweistufige Schwerlastrakete ist mit derzeit 26 Tonnen Nutzlast die aktuell stärkste Rakete. Zwei Feststoff-Booster übernehmen in den ersten zwei Minuten nach dem Start über 75 % der Schubkraft. Unterstützt werden sie durch die vier Triebwerke der

Hauptstufe, welche mit flüssigem Wasserstoff und Sauerstoff gespeist werden. Die Booster werden nach dem Ausbrennen abgeworfen. 8½ Minuten nach dem Start ist die Hauptstufe ausgebrannt und wird ebenfalls abgeworfen. Die zweite Raketenstufe ICPS (Interim Cryogenic Propulsion Stage, gleichfalls mit flüssigem Wasser- und Sauerstoff angetrieben) übernimmt bis zur 125. Minute die weitere Antriebsarbeit. Nach der Abkopplung setzt die ICPS 10 Minisatelliten (CubeSats) frei, die verschiedene Messungen zwischen Erde und Mond durchführen. Außerdem landet ein Satellit auf dem Mond und ein

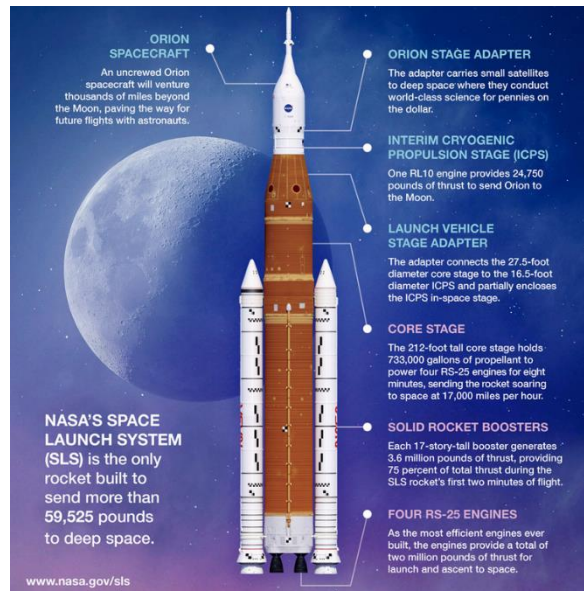


Bild 1: Aufbau der Trägerrakete SLS mit Orionmodul

Quelle: <https://www.scinexx.de/news/kosmos/artemis-1-aufbruch-zum-mond/>



Bild 2: Konfiguration des Orionraumschiffs

Quelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Orion_\(Raumschiff\)#/media/Datei:File-Current_2009_Cev_design.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Orion_(Raumschiff)#/media/Datei:File-Current_2009_Cev_design.jpg)

zweiter fliegt mittels Lichtsegel zu einem erdnahen Asteroiden.

Das auf der Trägerrakete aufsitzende Orion-Raumschiff (**Bild 2**) besteht aus einer Raumkapsel (Crew Module), die für bis zu vier Astronauten ausgelegt ist, sowie dem Servicemodul ESM (European Service Module). In der Artemis 1-Raumkapsel sind drei Raumfahrer-Dummys untergebracht, die zahlreiche Belastungsmessungen durchführen und einen neuen Raumzug testen. Das

ESM dient als Antriebs- und Versorgungseinheit und wurde im Auftrag der ESA in Bremen gefertigt. Es verfügt über ein Space-Shuttle-Triebwerk (ebenfalls auf Basis von flüssigem H_2/O_2), das nach der Abkopplung von der oberen Raketenstufe alle weiteren Manöver übernimmt. An der Spitze des Raumschiffs befindet sich ein Start-Abbruchsystem (Launch Abort System LAS), das bei Problemen in der Startphase die Orion-Kapsel mit der Crew in Sicherheit bringen kann und im Normalfall 3,5 Minuten nach dem Start abgeworfen wird. Ca. 18 Minuten nach dem Start fährt das ESM die Solarpanels zur Stromversorgung aus.

Nach ca. sechs Tagen passiert das Raumschiff den mond nächsten Punkt (ca. 100 km Abstand) und schwenkt in eine elliptische Bahn DRO (Distant Retrograde Orbit = Entfernte rückläufige Umlaufbahn) um den Mond ein (**Bild 3**). Ein Umlauf dauert 14 Tage und führt bis zu etwa 70.000 km vom Mond weg. Dieser Bahnverlauf ist bei minimalem Energieaufwand gravitativ sehr stabil und stellt eine Option für die künftige Raumstation Lunar Gateway dar. Je nach Missionsverlauf und Startfenster wird der Mond ½ oder ein 1½ Mal umrundet, bevor die Erde wieder angesteuert wird. 20 Minuten vor dem Eintritt in die Atmosphäre ist die Raumkapsel bei einer Geschwindigkeit von ca. 40.000 km/h noch etwa 5.000 km von der Erde entfernt und koppelt vom ESM ab. Während das ESM in der Atmosphäre verglüht, wird die Orion-Kapsel durch die Lufthülle abgebremst, wobei sie sich äußerlich bis auf 2.800 °C aufheizt. Ein Schutzschild schützt dabei die Kapsel. Nach Abbremsung auf 480 km/h wird ein erstes Paar Spezialfallschirme ausgelöst. Kurz darauf leiten drei große Hauptfallschirme die sanfte Landung im Pazifik ein.

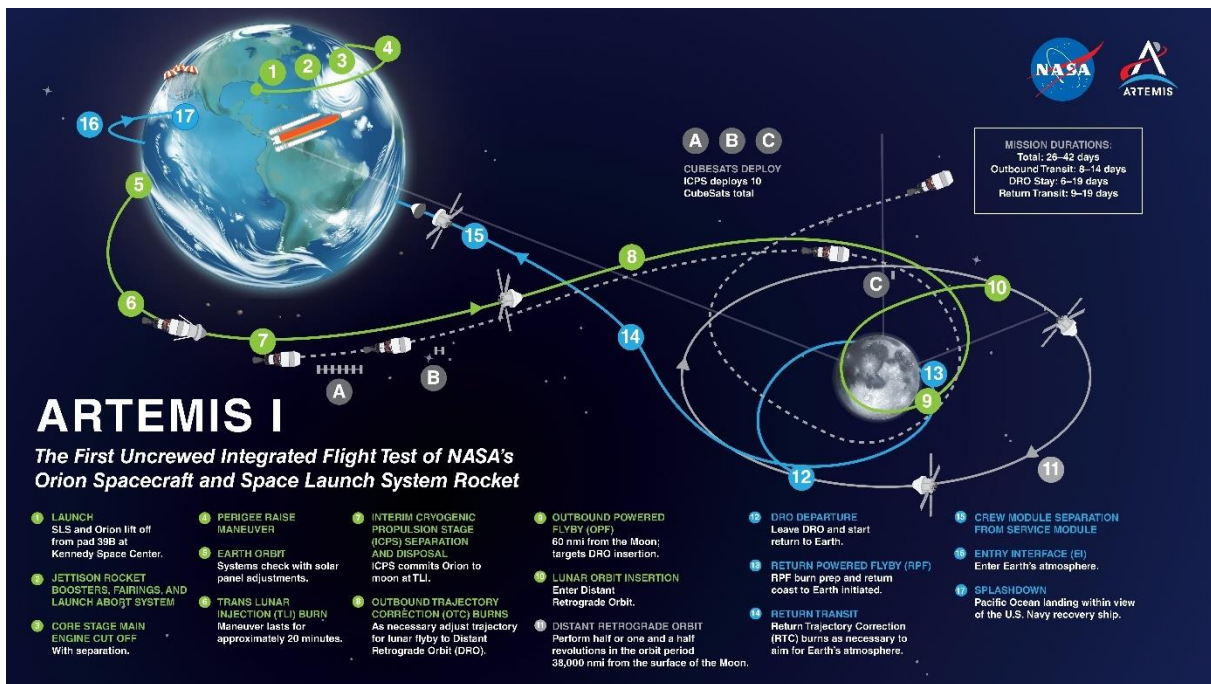


Bild 3: Ablauf der Artemis 1-Mission

Quelle: https://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/artemis_i_3_28_22.jpg

grün: Hinflug, blau: Rückflug, grau: DRO, gestrichelt: Weiterflug der ICPS / Absetzung CubeSats

Laut Bild 3 macht die NASA zum zeitlichen Ablauf der Mission folgende Angaben:

- Gesamtdauer: 26-42 d
- Hinflug: 8-14 d
- DRO-Verbleib: 6-19 d
- Rückflug: 9-19 d

Der Starttermin musste inzwischen mehrfach verschoben werden. Der ursprünglich für August geplante Start musste abgebrochen werden, weil laut Anzeige eines der vier Triebwerke nicht ausreichend heruntergekühlt werden konnte, um ein sicheres Betanken der Rakete zu gewährleisten. Ein neuer, für den 3. September vorgesehener Start, musste wegen eines Lecks in einem Tankschlauch ebenfalls abgesagt werden. Auch ein dritter, für den 27. September vorgesehener Start vom Cape Canaveral wurde wegen des Hurrikans Ian (bis zu 240 km/h) erneut verschoben.

Raketentests für die Artemis-Mission können im Gegensatz zu Satellitentransporten in eine Erdumlaufbahn oder Flügen zur ISS nur innerhalb begrenzter Zeitfenster erfolgen. Während der Mission dürfen die Solarpanels nur jeweils maximal 90 Minuten ohne Sonnenlicht sein. Ausgehend von Treibstoffmenge und Schubkraft des ESM setzen die Beschleunigungsmanöver und Flugwinkel zum Realisieren der Flugroute weitere Grenzen. Außerdem sollte die Landung auf der Erde bei Tageslicht erfolgen (<https://scienceblogs.de/astrodicticum-simplex/2022/09/05/himmelsmechanik-und-tankprobleme-das-startfenster-von-artemis-i/>).

Derzeit aktueller Starttermin ist der 14.11.2022.

Als nächste mögliche Zeitfenster nennt die NASA:

- 12.– 27.11., außer 20., 21. und 26.11.
- 07.– 20.01.23, außer 10., 12., 13. und 14.01.
- 09.– 23.12., außer 10., 14., 18. und 23.12.
- 03.– 17.02.23, außer 10.02.

Weitere Links zur Artemis-Mission:

- <https://de.wikipedia.org/wiki/Artemis-Programm>
- <https://www.ardalpha.de/wissen/weltall/astronomie/mond/mond-mondlandung-artemis-zukunft-nasa-100.html>