

Missionen zur Exploration des Mondes und Europas Beteiligung am Artemis Programm

#2 Übersicht

- Exploration – Definition
- Monde in unserem Sonnensystem
- Ziele der Mondexploration und Mondmissionen
- Europäische robotische Mondmissionen
- Das Artemis Programm der NASA und Europa's Rolle
- Kommerzielle Aspekte der Mondexploration
- Aufbau einer Mond-Infrastruktur
- Strategische Planung und gesellschaftliche Relevanz

#3 Aufnahme Mars-Express vom 3. Juli 2003



Blick auf das Erde-Mond-System vom 3. Juli 2003 aus einer Entfernung von 8 Millionen km. Die Aufnahme wurde mit der hochauflösenden Stereokamera (HRSC) von Mars Express gemacht. Das Bild zeigt echte Farben: der Pazifische Ozean erscheint in Blau und die Wolken in der Nähe des Äquators und in mittleren bis nördlichen Breiten in Weiß bis Hellgrau. Das Bild wurde vom Instrumententeam des Instituts für Planetenforschung des DLR, Berlin (Deutschland), bearbeitet.

#4 Exploration – Definition der ESA

Der Begriff „Exploration“ leitet sich von dem lateinischen Wort „Exploratio“ ab, – das Auskundschaften). Im alltäglichen Gebrauch wird „Exploration“ überwiegend mit der Erkundung oder Erforschung von Unbekanntem (-Terrain) gleichgesetzt. Historische Beispiele von Entdeckungsreisen in unerschlossene Regionen unseres Planeten, wie die Expeditionen von Christoph Columbus oder Marco Polo, wurden neben dem Wunsch nach neuer Erkenntnis maßgeblich durch politische und ökonomische Erwägungen der damaligen Regierungen mitbestimmt: eine Verbesserung des Handels und die mögliche Ausweitung des Staatsgebietes auf Kolonien oder Protektorate. Historisch gesehen kann man die **Exploration als eine der wesentlichen Vorläufer der geologischen Forschung** betrachten, da bereits seit mehreren tausend Jahren eine Vielzahl an Bodenschätzen mehr oder weniger systematisch erschlossen und ausgebeutet wurde.

(siehe <https://de.wikipedia.org/wiki/Exploration>).

Vor einer Arbeitsgruppe wurde 2010 im Auftrag des ESA-Generaldirektors eine Definition für den Begriff der „Weltraumexploration“ erarbeitet. Folgende Punkte beschreiben die wesentlichen Elemente dieser Definition:

- Projekt mit offenem Ende
- Zugang zu unbekanntem Terrain
- mit Menschen oder robotischen Systemen (direkte / indirekte Präsenz)

- Erweiterung unserer Grenzen und unseres Wissens
- Stimulation globaler Kooperation und des gegenseitigen Verständnisses
- Angetrieben von politischen-, wissenschaftlichen-, sozio-ökonomischen und humanistischen Motiven

Demzufolge ist die Erforschung des Weltraums kein Ziel an sich, sondern ein Prozess der Erforschung von unbekanntem Terrain. Die (Weltraum-) Exploration dient der Erweiterung von bestehenden Grenzen, und wird von politischen, wissenschaftlichen und sozioökonomischen Motiven angetrieben. Die Erforschung des Weltraums hat verschiedene Dimensionen: wissenschaftliche-, ökonomische-, politische- und kulturelle.

Die politische Dimension der Exploration leitet sich einerseits von einem gemeinsamen Interesse der Menschheit insgesamt für eine Erkundung jenseits der Grenzen unserer Atmosphäre-, andererseits von der Notwendigkeit, dem Aufwand für die Exploration zu teilen, ab. Die kulturelle Dimension der Exploration hängt mit der Entwicklung verschiedener Kulturen auf unserem Planeten zusammen und ist insbesondere in die europäische Geschichte eingebettet. Darüber hinaus ist Exploration nicht notwendigerweise identisch mit „Wissenschaft“, wengleich eine nicht geringe Überschneidung zwischen „Erkundung“ und „Wissenschaft“ existiert.

Siehe auch:

Global Exploration Roadmap. 3rd Edition 2018

https://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/isecg/GER_2018_small_mobile.pdf

International Space Exploration Coordination Group

<https://www.globalspaceexploration.org/>

#5 Monde der Planeten unseres Sonnensystems

Bis zum heutigen Zeitpunkt sind mehr als 200 Monde der Planeten unseres Sonnensystems bekannt, deren Durchmesser von weniger als 10 km – bis hin zu mehr als 2000km reichen. Jupiter und Saturn werden von den meisten Monden umrundet (Jupiter – 79, Saturn – 82). Merkur und Venus verfügen über keine Monde.

Die sechs größten Monde in unserem Sonnensystem:

Nr.	Name	Planet	Durchm. [km]
1	Ganymed	Jupiter	5.262
2	Titan	Saturn	5.150
3	Callisto	Jupiter	4.820
4	Io	Jupiter	3.643
5	Mond	Erde	3.476
6	Europa	Jupiter	3.121

siehe auch:

https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_Monde_von_Planeten_und_Zwergplaneten

Merkur, der erste Planet in unserem Sonnensystem ist mit einem Äquatordurchmesser von 4.879 km kleiner als die drei größten Monde.

Seit den 70-er Jahren wurden verschiedene Sonden der NASA und der ESA zu den Planeten jenseits der Marsumlaufbahn geschickt, welche teilweise auch einige Monde besuchten:

Mission	Agentur	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptun	Kuipergürtel
Pioneer 10	NASA	1973 *				
Pioneer 11	NASA	1974 *	1979 *			
Voyager 1	NASA	1979 *	1980 *			
Voyager 2	NASA	1979 *	1981 *	1986 *	1989 *	
Ulysses	NASA/ESA	1992 *				
Galileo	NASA	1995-2003 ○ 1995 A				
Cassini-Huygens	NASA/ESA	2000 *	2004-2017 ○ 2005 L Titan			
New Horizons	NASA	2007 *				2015 * Pluto
Juno	NASA	seit 2016 ○				

* Vorbeiflüge, ○ – Orbit, L – Landung, A – atmosphärischer Eintritt

Besonderen über den Saturnmond Titan, der eine stark methanhaltige Atmosphäre besitzt, lieferte die Mission Cassini-Huygens. Die Landung der ESA-Sonde Huygens auf Titan ermöglichte die Sammlung zahlreicher Daten, die ein Wettergeschehen ähnlich wie auf der Erde belegen: Wolkenbildung, Niederschlag in Form von flüssigem und gefrorenem Methan, Methanseen und Methaneis auf der Oberfläche.

In Hinblick auf die Suche nach möglichem Leben in unserem Sonnensystem spielen insbesondere die großen Jupitermonde Ganymed, Callisto und Europa eine besondere Rolle. Die bisher durchgeführten Missionen haben Hinweise auf Wasservorkommen auf diesem Planeten geliefert. Aufgrund der inneren Struktur dieser Monde ist es wahrscheinlich, dass unter deren Oberfläche sogar flüssiges Wasser existiert, was die Entstehung von Leben begünstigt haben könnte. In der nahen Zukunft sind sowohl eine Mission der NASA zum Jupitermond Europa- (Startdatum 2024), als auch eine ESA-Mission zu den Eismonden des Jupiters (JUICE – Jupiter Icy Moon Explorer, Startfenster April 2023) geplant.

#6 Steckbrief unseres Mondes

Durchmesser	3.476 km
gr. Halbachse	384.400 km
Periapsis	363.300 km
Apoapsis	405.500 km
Exzentrizität	0,0549
Bahnneigung	5,145 grd
Umlaufzeit	27,32 Tage
mittl. Orbitalgeschw.	1.022 km/s
mittl. Dichte	3,344 g/cm ³
Fallbeschl.	1,62 m/s ²
Fluchtgeschw.	2.380 m/s
Oberflächentemperatur	95 – 390 K

#7 Die Entstehung unseres Mondes



Künstlerische Darstellung der Kollision eines großen Asteroiden mit der Ur-Erde

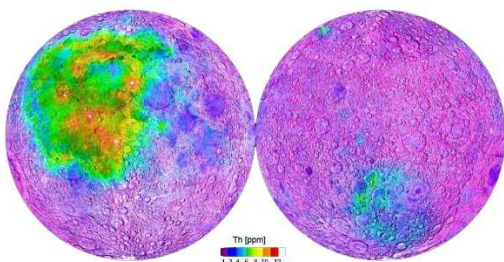
Alle Forschungsergebnisse deuten bis heute darauf hin, dass der Mond durch die Kollision eines Asteroiden mit der Ur-Erde entstanden ist. In einer gesteins-analytischen Untersuchung von Wissenschaftlern der ETH Zürich sowie der Universitäten Köln, Münster und Oxford wurde das Alter des Mondes durch eine radiometrische Datierung anhand von Wolfram-182 (das aus Hafnium-182 durch β^- -Zerfall mit einer Halbwertszeit von 9 Millionen Jahren entsteht) auf 4,527 Milliarden Jahre ($\pm 0,01$) bestimmt.

Messungen in Erd- und Mondgestein haben gerade die führenden Hypothesen bezüglich der Energie, mit welcher der Aufprall des Asteroiden stattgefunden hat, widerlegt. In einem Modell hinterlässt ein energiearmer Aufprall die Protoerde und den Mond in einer Silikatatmosphäre; in dem anderen Modell verdampft der Asteroid durch den viel heftigeren Aufprall, der größte Teil der Proto-Erde dehnt sich aus und bildet eine riesige superfluide Scheibe, aus der schließlich der Mond kristallisiert.

#8 Ziele der Mondexploration

- **Geschichtsbuch der Entwicklung unserer Erde** und anderer Planeten
- **Ressourcen** - Wasser, seltene Erden,...
- **Beobachtungsplattform** (opt./Radioastronomie, erdabgewandte Seite)
- **Sprungbrett für weitere Erkundung** des Sonnensystems (1/6 G)

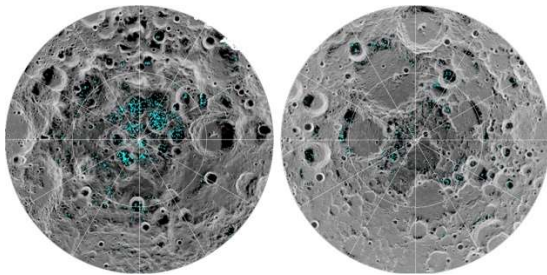
#9 Ressourcen auf dem Mond



Zu den **Metallen der Seltene Erden** gehören insgesamt 17 Elemente:
Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu
(die Elemente der 3. Nebengruppe - mit Ausnahme des Actiniums - und die Lanthanoide)

Seltene Erden auf dem Mond sind in den „KREEP“ (Kalium Rare Earth Elements Phosphore) zusammen mit Thorium und Uran angereichert und kommen besonders in der Umgebung von Oceanus Procellarum und Mare Imbrium (besonders in der Apennine Bench Region im südlichen Imbrium) vor (s. Bild). Entstanden sind sie bei der Kristallisierung des Magmaozeans des Mondes. Seltene Erden haben große Ionenradien, die nicht in die gesteinsbildenden Minerale passen und sich daher lokal anreichern können. Die Konzentrationen liegen bei etwa 100 ppm, das ist mehr als in chondritischen Meteoriten aber bedeutend weniger als in abbauwürdige Lagerstätten auf der Erde.

Allerdings sind „Seltene Erden“ auf der Erde gar nicht selten und die Konzentration in der Erdkruste beträgt etwa 200ppm. In abbauwürdigen Lagerstätten auf der Erde liegt die Konzentration weit über diesem Wert.

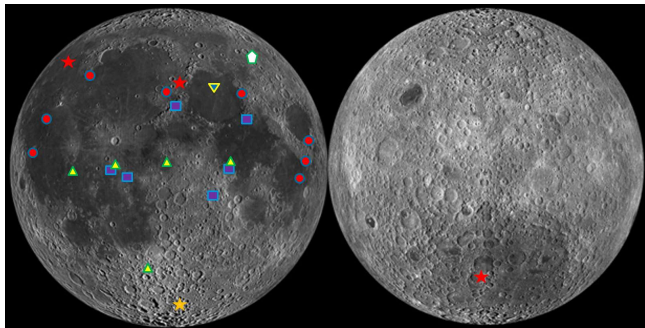


Aufnahmen des Moon Mineralogy Mapper Instruments der NASA an Bord der indischen Mondsonde Chandrayaan-1 zeigen die Verteilung des Oberflächeneises am Südpol (links) und am Nordpol (rechts). Die Eispositionen (Blau) werden über einem Bild der Mondoberfläche aufgetragen, wobei die Grauskala der Oberfläche-temperatur entspricht (dunklere Schattierungen stehen für kältere Gebiete und hellere Schattierungen für wärmere Zonen).

Die Raumsonde Chandrayaan-1 wurde 2008 von der Indian Space Research Organisation (ISRO) gestartet und hatte das NASA Instrument „Moon Mineralogy Mapper (M3) an Bord. Eines der Hauptziele dieser Mission war es, das Vorhandensein von festem Eis auf dem Mond zu bestätigen. Mit dem M3-Instrument gelang es, drei spezifische Signaturen zu identifizieren, welche die Existenz von Wassereis auf der Oberfläche des Mondes beweisen.

Die Eisablagerungen konzentrieren sich an den kältesten Stellen des Mondes, d.h. in den Polregionen und im Schatten der Krater. Das Eis ist uneinheitlich verteilt. Am Südpol konzentriert sich das meiste Eis auf Mondkrater, während das Eis am Nordpol breiter, aber spärlich verteilt ist.

#10 Überblick robotischer und astronautischer Mondlandungen



- Luna (Ru)
- ▲ Suerveyor (US)
- Apollo (US)
- ★ Chang'e (China)
- ★ Beresheet (Israel)
- ★ Chandrayaan (Indien)
- ◻ Hakuto-R (Jap, VAEs)

Der erste künstliche Flugkörper, der eine gesteuerte harte Landung auf der Mondoberfläche durchführte, war die russische Sonde Luna 2 im September 1959. Die erste kontrollierte weiche Landung auf dem Mond erfolgte im Januar 1966 durch die russischen Sonde Luna 9. Im Mai 1966 glückte der NASA mit der Sonde Surveyor 1 die erste weiche Landung auf dem Mond. Bis zu diesem Zeitpunkt waren 5 amerikanische Ranger-Sonden auf dessen Oberfläche zerschellt.

Insgesamt fanden bis zum heutigen Tag **22 weiche Landungen** robotischer Sonden- und 6 bemannte Landungen auf der Mondoberfläche statt. Die erste indische Landemission zerschellte im September 2019 in der Nähe des Südpols. Das gleiche Schicksal ereilte die erste israelische Landemission Beresheet im April 2019 und die japanische Sonde Hakuto-R im April 2023 in der Nähe des Atlas-Kraters in der Region Mare Frigoris.

China gelang im Dezember 2018 erstmalig eine Landung auf der erdabgewandten Seite des Mondes in dem Von Karman Krater. Die Funkverbindung wurde mit Hilfe eines Relay-Satelliten in einem Halo-Orbit um den Erde-Mond Librationspunkt L2 sichergestellt. Mit Chang'e 5 erfolgte im Dezember 2020 die erste Rückführung von 1,7kg Mondgestein seit der

russischen Mission Luna-24. Gleichzeitig war dies die weltweit erste erfolgreiche vollautomatische Kopplung im Mondorbit.

Der Einstieg in die europäische Exploration des Mondes wurde 2003 von der ESA mit der SMART-1 Mission eingeleitet (**S**mall **M**ission for **A**dvanced **R**esearch and **T**echnology). Zu den technologischen Zielen dieser bisher einzigen europäischen Mondmission gehörte die Erprobung eines neuartigen, solarelektrischen Ionen-antriebs, sowie neue Navigations- und Kommunikationstechnologien. Damit war SMART-1 die erste Sonde der ESA und die dritte Sonde weltweit, die einen solchen Antrieb verwendete. Der Start in einen Erdorbit in 4800km Höhe erfolgte im September 2003 mit einer Ariane 5. An Bord der Sonde (knapp 370 kg Startmasse) befanden sich verschiedene Kameras für sichtbare und nicht sichtbare Strahlung (sichtbarer Wellenbereich, IR-Spektrometer für mineralogische Kartierung, Röntgenteleskop). Mit Hilfe des Ionenantriebs erreichte SMART-1 im November 2004 zunächst einen hohen Mondorbit (5000-6000 km), der in den folgenden Monaten weiter in eine elliptische polare Umlaufbahn (Perilun 300km Südpol. Apolun 3000km Nordpol) verändert wurde. Die Mission endete am 3. September 2006 mit einem kontrollierten Einschlag in der südlichen Hemisphäre (Lacus Excellentiae).

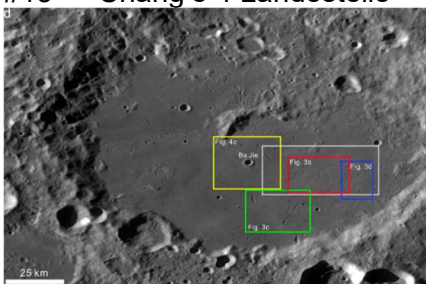
#11 Das Apollo-Programm der NASA

Im Rahmen des amerikanischen Raumfahrtprogramms „Apollo“ landeten von Juli 1969 bis Dezember 1972 12 Menschen auf dem Mond.
Aufnahme der letzten Mondexpedition (Apollo 17 mit Harrison Schmitt und Eugene Cernan)

#12 Kartierung der Apollo-Landestellen durch den Lunar Reconnaissance Orbiter

Der Lunar Reconnaissance Orbiter wurde am 18. Juni 2009 gestartet und befindet sich seit dem 23. Juni 2009 im Mondorbit. Seine erwartete Betriebszeit hat er bereits um mehr als 7 Jahre überschritten (Missionsdauer bisher mehr als 12 Jahre).
Auf den Bildern sind die genauen Wege zu erkennen, die die Astronauten auf der Mondoberfläche zurückgelegt haben.

#13 Chang'e 4 Landestelle – Von Karman Krater

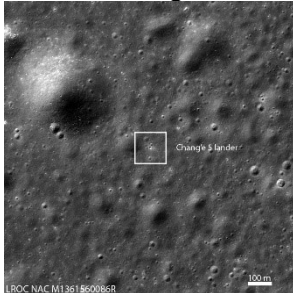


Das weiße Rechteck bezeichnet die Landeregion von Chang'e-4

Chang'e-4 startete im Dezember 2018 mit der Trägerrakete Chang Zheng 3B/E vom Kosmodrom Xichang. Die weltweit erste Landung auf der erdabgewandten Seite des Mondes erfolgte Anfang Januar 2019 in dem Von Karman Krater im Südpol-Aitken-Becken, dem größten Einschlagskrater des Mondes.

Die Funkverbindung mit der Bodenstation erfolgte mit einem Relaisatelliten (Queqiao), der bereits im Mai 2018 gestartet war. Diese Sonde befindet sich inzwischen in einem entfernten rückläufigen Mondorbit (DRO).

#14 Chang'e 5 Landestelle Dezember 2020 - Oceanus Procellarum



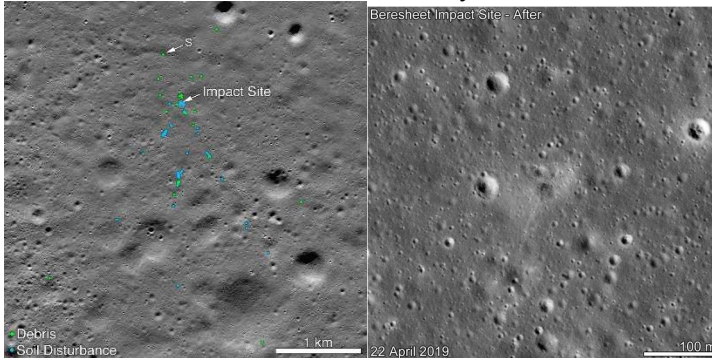
Die erste chinesische Mondmission zur Rückführung von Mondgestein startete im November 2020 mit der Trägerrakete Langer Marsch 5 vom Kosmodrom Wenchang. Die Sonde hatte eine Gesamtmasse von 8250 kg (davon 5450 kg Treibstoff). Die Landung auf der nordwestlichen Hemisphäre der erdzugewandten Seite des Mondes (Oceanus Porcellarum) erfolgte am 1. Dezember. Die Rückkehrkapsel startete zwei Tage später mit 1,7 kg Mondgestein und koppelte am 5. Dezember mit dem Mondorbiter. Die Rückkehrkapsel landete am 16. Dezember 2020 auf der Erde, während der Orbiter zurück in einen Mondorbit gelenkt wurde (Distant Retrograde Orbit – DRO).

#15 Mondrückseite, Chang'e 5 T1-Orbiter, Dezember 2020



Die Aufnahme zeigt die erdabgewandte Seite des Mondes und im Hintergrund die Erde.

#16 Absturzstellen von Chandrayaan-2 und Beresheet



Als Landeort war für die indische Sonde Chandrayaan-2 eine glatte Hochlandebene etwa 600 Kilometer vom Südpol entfernt ausgewählt. Der Abstieg des Landers aus dem Mondorbit am 7. September 2019 verlief zunächst planmäßig, bis in einer Höhe von ca. 2 km der Kontakt zur Sonde abbrach. Mit Hilfe der Aufnahmen der NASA-Sonde LRO konnte die Einschlagstelle und das dazugehörige Trümmerfeld identifiziert werden.

Die israelische Sonde Beresheet wurde am 22. Februar 2019 als Sekundärnutzlast einer Falcon 9 von Cape Canaveral in einem elliptischen Erdorbit mit einer maximalen Höhe von 69.000 km ausgesetzt. Am 4. April 2019 führte die Sonde ein Bremsmanöver aus und schwenkte in einen elliptischen Mondorbit von 500 km × 10.000 km ein. Anschließend wurde die Umlaufbahn in mehreren Manövern auf eine kreisförmige Bahn in 200 km Höhe über der Mondoberfläche abgesenkt. Nach dem Beginn des Landemanövers trat in 14 km Höhe ein Problem in der Trägheitsplattform auf, woraufhin die Funkverbindung ausfiel. Zwar konnte der Kontakt mit der Sonde wieder hergestellt werden, jedoch hatte sich inzwischen das

Haupttriebwerk abgeschaltet war. Die Absturzstelle von Beresheet im Mare Serenitatis konnte durch LRO-Daten identifiziert werden (ca. 33N, 19E).

Von der Absturzstelle der japanischen Hakuto-R-Sonde in der Nähe des Atlas-Kraters in der nordöstlichen Hemisphäre der erd zugewandten Seite des Mondes wurden bisher keine LRO-Aufnahmen veröffentlicht.

#17 Modexploration in den Medien



Titelseite der Bildzeitung vom 17. März 2007

#18 Eine neue Ära der Mondexploration für Europa

Aufbauend auf den Erfolgen von SMART-1 und ATV, sowie als Erweiterung bestehender Kooperationen mit den Partnern des ISS-Programms (NASA, RSC, JAXA), startete der ESA im Laufe des vergangenen Jahrzehnts zahlreiche Aktivitäten zur weiteren Erkundung des Mondes, auch in Kooperation mit NASA und Roscosmos:

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| • Luna 25 & 27 | PILOT und PROSPECT (2022) |
| • ISRU-Technologien | Massenspektrometer (Q1 2023) |
| • European Service Module | Erstflug Nov. 2022 |
| • Lunar Gateway | ESPRIT und I-HAB in Entwicklung |
| • Cis-Lunar Transfer Vehicle | erste Entwicklungsaktivitäten |
| • European Large Logistics Lander | erste Entwicklungsaktivitäten |
| • Lunar Comm/Nav Services - | Phase 0/A in 2021 abgeschlossen |

Aufgrund des russischen Angriffs auf die Ukraine im Februar 2022 entschieden die im ESA-Rat vertretenen Mitgliedsländer, die Kooperation mit Roscosmos in den Bereichen der Mond- und Marsexploration (d.h. Luna 25 & 27, ExoM-Lander) einzustellen. Der für Exploration zuständige Direktor erhielt den Auftrag, nach Alternativen für eine Fortsetzung der entsprechenden Programme zu suchen

#19 Kooperation ESA-Roscosmos

Die Durchführung einer rein europäischen robotischen Mondlandemission fand in der ESA-Ministerratskonferenz 2012 keine ausreichende Unterstützung. Basierend auf den bereits durchgeführten Vorstudien, und in Hinblick auf die bei der russischen Raumfahrtagentur Roscosmos seit Beginn der 90-er Jahre laufenden Planungen und Entwicklungen für Mondlandemissionen, erarbeitete die ESA in den folgenden Jahren einen Vorschlag für eine europäische Beteiligung an dem russischen Luna-Programm. Die europäische Beteiligung an dem russischen Mondexplorations-programm umfasst folgende Elemente:

- Luna 25 (Luna-Glob Lander, Start geplant 05/22), ESA-Beitrag: Navigationskamera (Technologietest)
- Luna 26 (Luna Resurs Orbiter, geplanter Start 2024) – keine ESA-Beteiligung
- Luna 27 (Luna Resurs Lander, gepl. Start 2025); ESA Beiträge: optisches Navigationssystem zur Hindernisvermeidung bei Landung, wissenschaftliches Modul zur Extraktion von Gesteinsproben aus 2m Tiefe und deren chemische Analyse

- Luna 28 (Luna Lander und Modul zur Probenrückführung, gepl. Start 2028); ESA Beteiligung – Probenrückführung....

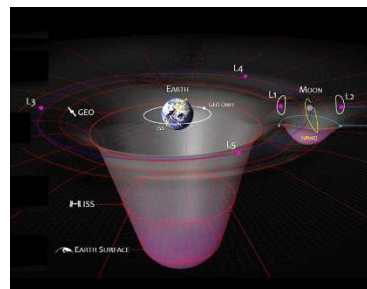
Die Zusammenarbeit mit Roscosmos wurde gemäß der Entscheidung der ESA-Rastssitzung im März 2022 eingestellt.

#20 Robotische Mondexploration - erste Missionen mit europäischer Beteiligung



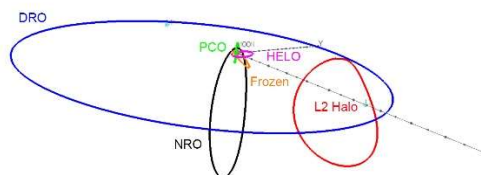
Bereits Ende vergangenen Jahres sollte eine europäische Nutzlast an Bord einer kommerziellen Mondlandemission des US-Raumfahrtunternehmens Astrobotic Technology starten. Inzwischen wurde der Start des Peregrine-Landers mit der Trägerrakete Vulcan auf das 2. Quartal 2023 verschoben. Bei der ESA-Nutzlast handelt es sich um den Prototyp eines „Ionenfallen-Massenspektrometers“, mit dessen Hilfe die Bestandteile des Mondgesteins analysiert werden sollen. Dieses Analysesystem soll auch bei der Luna 27-Mission zum Einsatz kommen.

#21 Der Cis-lunare Raum



Als cis-lunaren Raum bezeichnet man das Volumen innerhalb des Mondorbits, einschließlich der Erde-Mond Lagrangepunkte (L1, L2, L4 und L5). Damit soll eine Abgrenzung zu Erdorbits, die üblicherweise bis jenseits des GEO reichen, hergestellt werden.

#22 Potenzielle Zielorbits um den Mond



Um für eine Explorationsmission die geeignete Mondumlaufbahn zu finden, müssen eine Reihe-, zum Teil konkurrierender Anforderungen erfüllt werden. Bei der Wahl eines Orbits spielen z.B. Eigenschaften/Einschränkungen, die für den Zugang mit einem gegebenen Transportsystem zum Mondorbit, zur Mondoberfläche, zurück zur Erde und in den Weltraum eine entscheidende Rolle. Darüber hinaus sind Aspekte, welche die Kommunikation Orbit-Mond und Orbit-Erde, die Erreichbarkeit eines Orbiters nach Start von der Mondoberfläche, Aufwand für die Aufrechterhaltung des Mondorbits, sowie den Thermalhaushalt in Betracht zu ziehen. Die folgende Tabelle zeigt verschiedene Orbit-Typen, welche in Hinblick auf deren Eignung für ein bestimmtes Missionsszenario analysiert wurden. Vor diesem Hintergrund

erscheint der NRHO (Near Rectilinear Halo Orbit um dem EM-L2) für die Platzierung des Lunar Gateways besonders geeignet.

Orbit Type	Period	Lunar Amplitude Range [km]	Earth-Moon orient. [deg]
Low Lunar Orbit (LLO)	2 h	100	any inclination
Prograde Circular (PCO)	11 h	3.000 – 5.000	75
Frozen Lunar Orbit	13 h	880 – 8.800	40
Elliptical (ELO)	14 h	100 – 10.000	equatorial
Near Rectilinear (NRO)	6-8 d	2.000 – 75.000	roughly polar
Near Rect. Halo (NRHO)	6,5 d	1.500 – 70.000	Halo orbit around EM L2
E-M L2 Halo	8-14 d	0 – 60.000 (L2)	dep. on size
Distant retrograde (DRO)	14 d	70.000	equatorial

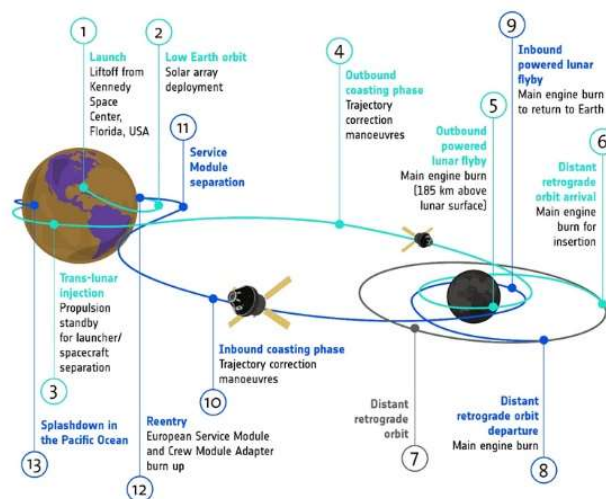
Siehe: Ryan Whitley, Roland Martinez „Options for Staging Orbits in Cis-Lunar Space“, Oktober 2015

#23 Lunar Gateway und das Artemis Programm



In Anlehnung an die griechische Mythologie wurde das neue Mondprogramm der NASA nach der Zwillingsschwester von Apollo, „Artemis“ benannt. Im Gegensatz zu dem Missionsszenario der Apollo-Missionen wird im weiteren Verlauf des Programms zunächst eine Station in einem elliptischen Mondorbit errichtet (NRHO), das Lunar Gateway, das im späteren Verlauf des Artemis-Programms als Zwischenstopp auf dem Weg zu-/von der Südpolregion dienen wird.

#24/25 Ablauf der 1. Artemis-Mission



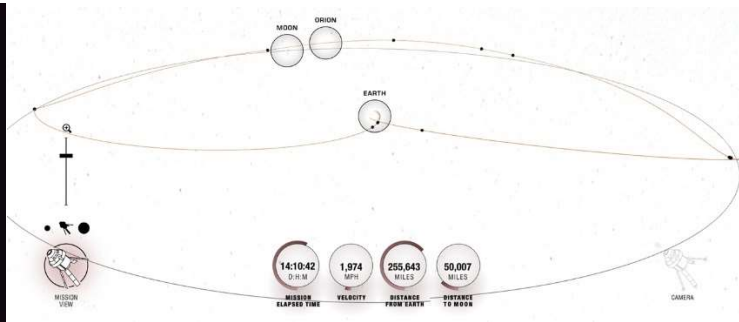
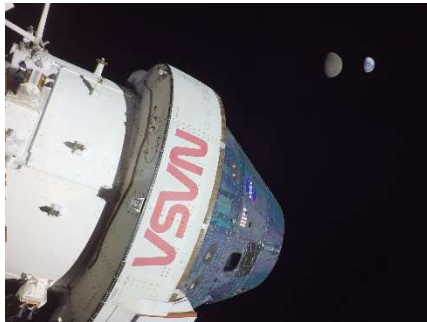
Die Artemis-I Mission diente dazu, die Funktionsfähigkeit der neuen Trägerrakete SLS, der Orion-Kapsel und des ESM zu verifizieren. Diese Mission wurde ohne Besatzung durchgeführt.

Aufgrund von technischen Problemen musste der Start mehrmals verschoben werden. Der erste Startversuch erfolgte am 29. August 2022 und wurde wegen einer zu hohen

Temperaturanzeige in einem der 4 Triebwerke, einer Kommunikationsverzögerung zwischen dem Raumfahrzeug und der Bodenkontrolle, eines angezeigten Treibstofflecks und einem Riss im Isolierschaum der Verbindungselemente zwischen den Flüssigwasserstoff- und Flüssigsauerstofftanks abgebrochen. Ein zweiter Startversuch am 3. September 2022 wurde bereits wenige Stunden vor der Zündung der Haupttriebwerke aufgrund eines Lecks an einem Wasserstoff-Tankschlauch abgesagt. Der dritte Starttermin am 24. September musste aus meteorologischen Gründen verschoben werden, da mit den heranziehenden Hurrikans „Ian“ und „Nicole“ mit extremen Windgeschwindigkeiten zu rechnen war. Deshalb wurde am 26. September damit begonnen, die Rakete wieder von der Startrampe zum Vehicle Assembly Building zu transportieren.

Am 16. November startete die SLS-Trägerrakete schließlich erfolgreich zu ihrer Mission. Nach Erreichen des Erdorbits wurden zunächst die Solarpaneele des ESM entfaltet. Wenige Minuten später, 51 Minuten nach Abheben der Trägerrakete, wurde durch die Oberstufe ein Manöver zur Anhebung des Perigäums durchgeführt, und nach etwas mehr als einer halben Stunde erfolgte durch deren erneute Zündung der Einschuss in eine Flugbahn zum Mond (Trans-Lunar Injection – TLI). Im weiteren Verlauf der Mission wurden dann mit Hilfe des ESM-Haupttriebwerks verschiedene Korrekturmanöver durchgeführt, welche das Raumschiff schließlich in einen Distant Retrograde Orbit brachten.

#26/27 Orion im DRO

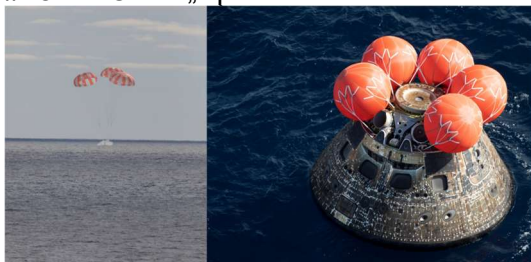


Während insgesamt 5 Tagen im DRO (Flugtage 10-15) erreichte Orion eine maximale Entfernung von der Erde von 432.210 km (28. November 2022). Die maximale Entfernung zur Mondoberfläche (Aposelenium) lag in dieser Phase bei knapp 70.000 km.

Da sich der Mond pro Tag etwa 12 Grad Richtung Osten bewegt, stellt sich die Flugbahn des Raumschiffs im erdfesten System etwas anders dar (rechtes Bild). Hier bewegt sich der Mond während der 14 Tage, die Orion im Orbit verbrachte, um etwa 168 Grad Richtung Osten (d.h. nach Links), während die Drehrichtung des DRO nach rechts geht.

Um zur Erde zurückzukehren, zündete das Raumschiff am 1. Dezember (16. Flugtag) sein Haupttriebwerk, um zunächst den DRO zu verlassen. Am 5. Dezember wurde ein weiteres Manöver durchgeführt, das die Kapsel auf eine Flugbahn in Richtung Erde brachte. Hierbei näherte sich das Raumschiff auf 128 km der Mondoberfläche an.

#28 Orion „Splashdown“ am 11. Dezember 2022, 17:40 UTC



Nach weiteren 6 Tagen erreichte die Orion-Kapsel die Erde. Der Weidereintritt in die Erdatmosphäre begann mit einer Geschwindigkeit von ca. 40.000 km/h, was etwa der 1,46-

fachen Geschwindigkeit beim Wiedereintritt aus der Umlaufbahn der ISS entspricht. Die Wasserung der Orion-Kapsel erfolgte am **11. Dezember um 17:40 UTC nach 25 Tagen, 10 Stunden und 53 Minuten** vor der amerikanischen Westküste (Baja California).

#29/30 Das Europäische Service Modul (ESM) und sein Vorgänger, das ATV



ESM-1 bei Airbus in Bremen im November 2018

Das European Service Module (ESM) ist die primäre Energie, Versorgungs- und Antriebskomponente des Orion-Raumfahrzeugs für seinen Flug zum Mond und zurück zur Erde für bis zu 4 Besatzungsmitglieder. Vor dem Eintritt in die Erdatmosphäre wird das ESM von der Orion Kapsel getrennt und durch die entstehende Reibungswärme zerstört.

Die Entwicklung des ESM basiert auf dem europäischen Versorgungsraumschiff für die ISS, dem ATV. Das erste ESM wurde Ende 2018 von Airbus Defence and Space in Bremen an die NASA ausgeliefert. Auch für die folgenden Explorationsmissionen von Artemis 2 bis 6 wird Europa die ESMs liefern. Dieses Modul ist ebenso in der Lage, drucklose Fracht und wissenschaftliche Nutzlasten zu transportieren.

Dimensionen	Länge 4m, Durchmesser 4,1 m
Startmasse	13.500 kg, einschl. 8.600 kg Treibstoff
Haupttriebwerk	Shuttle OMS – 26,6 kN (Artemis 1-5) Aerojet OME (von Artemis 6 an)
Hilfstriebwerke	8 x 490N Aerojet R-4D-11
Lagekontrolle	24 x 490 N (Airbus)
Stromversorgung	11,2 kW, 4 Solarpaneele, Länge 7,3 m
Nutzlastmasse	380 kg

#31 Aufbau des Orion- Raumschiffs



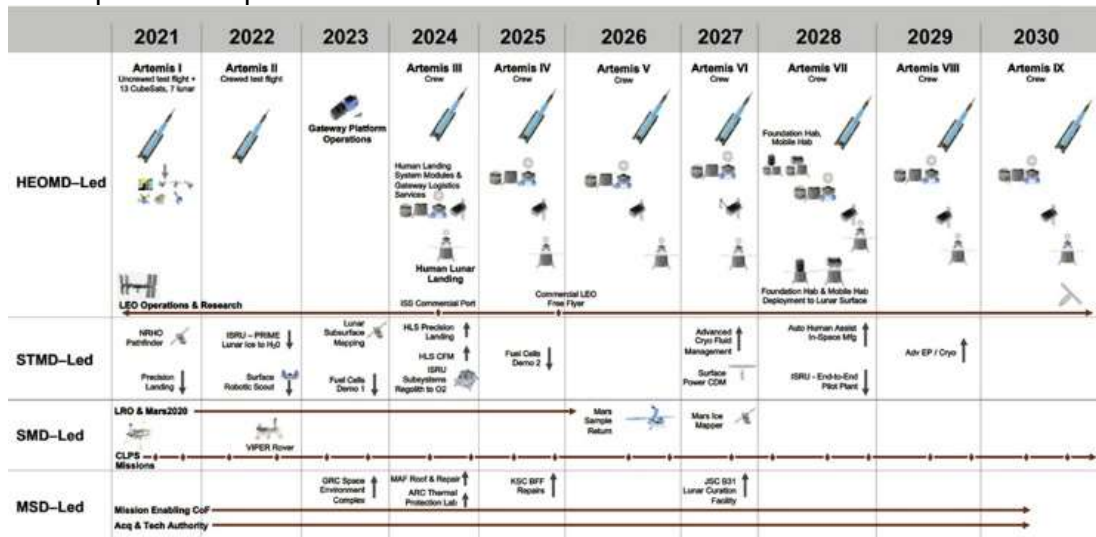
Die drei seitlichen Segmente verbinden das Raumschiff mit der Trägerrakete. Sie nehmen das Gewicht des Raumschiffs, die beim Start entstehenden Trägheits- und aerodynamischen Kräfte auf. Das Launch Escape System (LES) dient der Rettung der Besatzung im Falle einer Fehlfunktion der Trägerrakete am Boden oder während der Aufstiegsphase in den Orbit. Eine glockenförmige Schale schützt die Orion-Kapsel und die darunter liegende Struktur vor den aerodynamischen Kräften. Die seitlichen Segmente und das LES werden kurz vor Erreichen des Orbits abgesprengt.

#32 /33 SLS-Oberstufe (Block 1 und 1B) mit Orion



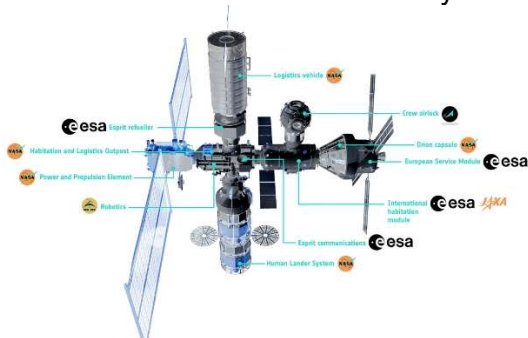
Die Mission Artemis-1 nutzt die modifizierte Oberstufe einer Delta-IV (Interim Cryogenic Propulsion Stage - ICAPS mit RL-10, 110kN, $I_{spec} = 462$ s, SLS Block 1). Ab Artemis 4 soll eine leistungsfähigere Oberstufe eingesetzt werden (Exploration Upper Stage – EUS mit 4x RL-10C-3, 433 kN, SLS Block 1B).

#34 Zeitplan der Explorationsmissionen



Die obige Grafik stellt den ursprünglichen Zeitplan für die Explorationsmissionen bis zum Ende dieses Jahrzehnts dar. Aufgrund der Verschiebung des SLS/Artemis Erstfluges auf Ende 2022 ist mit einer entsprechenden Verschiebung der folgenden Missionen- und damit auch mit einer Verschiebung des Lunar Gateways um ein Jahr zu rechnen. Die Mission Artemis-II soll nach gegenwärtigem Stand (Feb. 2023) im Mai 2024 starten, die Landung einer Besatzung in der Südpolregion im Jahr 2025.

#35 Elemente des Lunar Gateways



Elemente des Gateways:

- PPE** – Power and Propulsion Element (US)
- HALO** - Habitation and Logistics Outpost (US)
- ESPRIT** – European System Providing Refueling, Infrastructure and Telecommunications (ESA)
- I-HAB** – int. Habitation Module (ESA, JAXA)
- Crew Airlock** (RSC, tbc.)

Das Lunar Gateway ist eine Station, die von den ISS-Partnern im Laufe dieses Jahrzehnts im Mondorbit aufgebaut wird. Sie wird sowohl als Zwischenstation für bemannte Landungen

auf der Mondoberfläche-, als auch als Ausgangspunkt für Explorationsmissionen jenseits des Mondorbits dienen. Das Gateway mit seinen 5 Elementen wird eine Masse von etwa 40 Tonnen haben. Eine vierköpfige Besatzung kann bis zu 90 Tage am Bord leben und arbeiten.

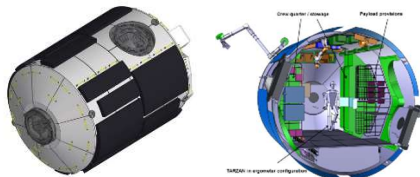
Im Mai 2019 beauftragte die NASA das Raumfahrtunternehmen Maxar Technologies für den Bau des PPE aus. Mit einer elektrischen Leistung von 60 kW wird es den solarelektrischen Antrieb und das Gateway mit Energie versorgen, sowie die Lagekontrolle und Kommunikation mit der Erde sicherstellen.

Die Entwicklung des ersten Habitats (Habitation and Logistics Outpost) basiert auf dem ISS-Versorgungsraumschiff Cygnus. Als Hauptauftragnehmer hat NASA die Firma Northrop Grumman ausgewählt. HALO beinhaltet all die grundlegenden Systeme für Lebenserhaltung, Thermalkontrolle, Energiespeicherung- und Verteilung, Steuerung und Datenverarbeitung. Zur Kopplung mit dem Orion Raumschiff und der Verbindung mit PPE und weiteren Gateway-Elementen wird es mit 3 IDA-Docking-Ports ausgerüstet sein.

Im Oktober 2020 unterzeichnete die ESA ein Abkommen mit der NASA, in welchem die europäischen Beiträge zum Artemis-Programm detailliert beschrieben wurden. Die Beiträge umfassen im Laufe dieses Jahrzehnts neben der Lieferung von insgesamt 6 ESMs den Bau eines größeren Habitats (I-HAB, gemeinsam mit JAXA) sowie des Versorgungselements ESPRIT (European System Providing Refueling, Infrastructure and Telecommunications), welches auch eine wissenschaftliche Luftschleuse beinhalten wird.

Die ESA wird beginnend mit der Mission Artemis-3 (ab 2025) drei Flugmöglichkeiten für europäische Astronauten/innen zum Gateway erhalten. Im Frühjahr 2022 bestätigte der NASA-Administrator, Bill Nelson, dass mit der ESA auch eine Fluggelegenheit für eine/n europäische/n Astronauten/in zur Mondoberfläche für Ende des Jahrzehnts vereinbart wurde.

#36 Das Europäisch-Japanische I-HAB



Die Struktur des europäisch-japanischen I-HAB ist von den in Europa hergestellten ISS-Nodes abgeleitet. Zusammen mit dem HALO wird es den Aufenthalt von bis zu 4 Personen für maximal 90 Tage ermöglichen.

Startmasse [kg]	9.000
Leermasse [kg]	7.400
Druckbeaufschlagtes Vol. [m ³]	76
Länge [m]	5,1
Durchmesser [m]	4,5

#37 European Large Logistics Lander (EL3 "Argonaut")



Für die logistische Unterstützung von Operationen auf der Mondoberfläche wird gegenwärtig die Auslegung eines europäischen Mondlanders (EL3) untersucht, der mit einer Ariane 64 starten soll. Im Rahmen dieser Studie werden zwei Nutzlastoptionen näher betrachtet:

- eine Version zur Unterstützung astronautischer Mondexpeditionen, und
- eine eigenständige europäische Wissenschaftsmission zur Mondoberfläche mit der Option, Proben zur Erde zurückzubringen.

Basierend auf diesen beiden Varianten wäre es zukünftig auch möglich, Missionen durchzuführen, die sowohl wissenschaftliche Experimente, Technologie-demonstration und Frachtlieferung kombinieren. Ein möglichst vielseitiges Einsatzspektrum von EL3 ist daher ein wesentliches Kriterium bei der laufenden Studie, d.h die Lieferung von Versorgungsgütern, eines robotischen Rovers, einer Rückkehrstufe für Mondgestein, ISRU-Systeme, Geräte zur Energieerzeugung uvm. Die Auswahl für eine erste Nutzlast soll nach Abschluss der Studie in diesem Jahr stattfinden. Eckdaten des EL3:

Trägerrakete	Ariane 64
Starmasse [kg]	8.500
Masse des Landers [kg]	1.600
Nutzlastmasse auf dem Mond [kg]	1.500
Länge [m]	6,0
Durchmesser [m]	4,5

#38 NASA's kommerziellen Dienste für Lunare Nutzlasten



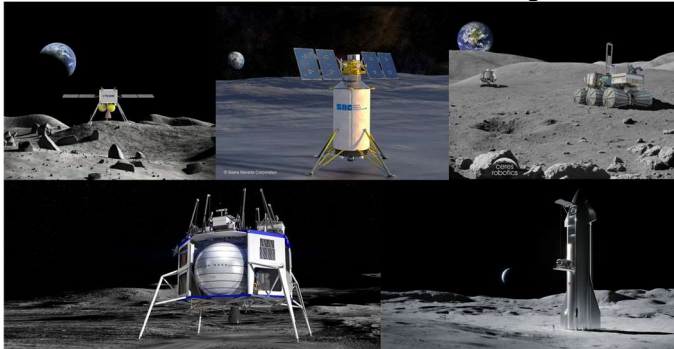
In den USA entwickelte sich in den vergangenen Jahren ein zunehmendes kommerzielles Interesse im Zusammenhang mit dem weltweiten Mondaktivitäten. Das Spektrum des kommerziellen Interesses reicht von dem Aufbau von Transport-diensten in den Mondorbit und die Mondoberfläche, über den Aufbau von Kommunikations- und Navigationsdiensten, dem Aufbau einer Infrastruktur auf der Oberfläche bis hin zur Förderung und Prozessierung von Ressourcen (Wasser, Erze).

Im November 2018 vergab die NASA neun US-Unternehmen die Berechtigung, im Rahmen von CLPS-Verträgen (Commercial Lunar Payload Services) der NASA zukünftig Transportdienste zur Mondoberfläche anzubieten (s.Liste unten). In Vorbereitung dieser Auswahl hatte das Wissenschaftsdirektorat der NASA (Science Mission Directorate - SMD) Unternehmen dazu aufgefordert, entsprechende Vorschläge, welche die Erreichung einer Vielzahl wissenschaftlicher und technologischer Ziele ermöglichen, einzureichen. Dazu gehörte z.B ein regelmäßiger Transport von Instrumenten, Experimenten und anderen kleinen Nutzlasten zum Mond. Diese zukünftig zu vergebenden CLPS-Verträge haben einen Vertragswert von insgesamt 2,6 Milliarden US-Dollar in den nächsten 10 Jahren.

- Astrobotic Technology, Inc.: Pittsburgh
- Deep Space Systems: Littleton, Colorado
- Draper: Cambridge, Massachusetts
- Firefly Aerospace, Inc.: Cedar Park, Texas
- Intuitive Machines, LLC: Houston
- Lockheed Martin Space: Littleton, Colorado
- Masten Space Systems, Inc.: Mojave, California
- Moon Express: Cape Canaveral, Florida
- Orbit Beyond: Edison, New Jersey

Im Mai 2019 wählte die NASA drei dieser 9 Kandidaten für die Durchführung einer Demonstrationsmission zur Mondoberfläche und weitere Zusammenarbeit aus: Astrobot, Intuitive Machines und Orbit Beyond.

#39 Neue Kandidaten im Artemis Programm



Für den **Transport von schwereren Nutzlasten sowie von Astronauten/innen zur Mondoberfläche** ergänzte NASA im November 2019 die Liste der Kandidaten für das CLPS-Programm um fünf weitere Firmen:

- Blue Origin, Kent, Washington
- Dynetics, Huntsville, Alabama
- Lockheed Martin, Littleton, Colorado
- Northrop Grumman, Dulles, Virginia
- SpaceX, Hawthorne, California

Im September 2021 erhielten diese 5 Firmen von der NASA den Auftrag, ihre Konzepte für die Entwicklung eines Landesystems weiter auszuarbeiten. Das Gesamtvolumen für diese Phase lag bei 145 Mio\$.

#40 Entwicklung einer Mond-Infrastruktur



Zu Beginn des Jahres 2016 schlug der neue ESA-Generaldirektor, Prof. Dr. J. Wörner, der internationalen Raumfahrtgemeinschaft das Konzept eines „Monddorfs“ (Lunar Village) vor. Bei diesem Vorschlag handelte es sich nicht in erster Linie um ein technisches Programm, sondern vielmehr um ein Konzept zur gemeinsamen Führung und Steuerung der Mondexploration durch möglichst viele Länder bzw. deren Raumfahrtagenturen (Governance-Konzept). Dieser Ansatz erregte zunächst großes Aufsehen und wurde zwischen den Raumfahrtagenturen intensiv diskutiert (ESA, NASA, CNSA, RSC, JAXA, CNES, DLR, ASI, CSA). In Anbetracht der inzwischen weiter fortgeschrittenen Vorbereitungen zur Mondexploration im Rahmen des von der NASA geführten Artemis-Programms sind die Aspekte einer internationaleren Governance für die zukünftige Mondexploration jedoch in den Hintergrund getreten.

#41 Die „Artemis-Accords“



Im Jahr 2020 wurden von der NASA und dem amerikanischen Außenministerium Richtlinien für die Exploration des Mondes formuliert (Artemis Accords), welche für die am Artemis-Programm beteiligten Agenturen und deren Mitgliedsländer verbindlich sind. Hierbei handelt es sich um eine von allen Partnern akzeptierte gemeinsame Vision, die teilweise auf dem UN-Weltraumvertrag von 1967 basiert, ein sicheres und transparentes Umfeld schaffen soll und die auf insgesamt 10 Prinzipien basiert:

- Verfolgung friedlicher Zwecke
- Transparenz
- Interoperabilität
- Unterstützung in Notfällen
- Registrierung von Raumfahrtobjekten
- Freigabe wissenschaftlicher Daten
- **Schutz von historischen Landezonen und den Raumfahrzeugen**
- **Nutzung von Ressourcen**
- **Entflechtung von Aktivitäten („Deconfliction“)**
- Umgang mit Raumfahrtrückständen und Entsorgung von Raumfahrzeugen

Insbesondere die mit dem Schutz von historischen Landezonen, der Nutzung von Ressourcen und der Entzerrung von Aktivitäten verbundenen Aussagen haben teilweise eine sehr starke Kritik-, sowohl auf internationaler Ebene, seitens der UN und auch bei einigen ESA-Mitgliedsländern verursacht. Die Artemis Accords wurden im Oktober 2020 von 8 Raumfahrtagenturen (Australien, CSA, ASI, JAXA, Luxembourg, VAEs, UKSA und NASA, sowie im weiteren Verlauf von 13 weiteren Ländern unterzeichnet (im Frühjahr 2022 von Frankreich). Es ist anzumerken, dass 1979 ein Übereinkommen zur Regelung der Tätigkeiten von Staaten auf dem Mond und anderen Himmelskörpern als Erweiterung des UN-Weltraumvertrags von 1967, welches das Eigentum an Himmelskörpern regeln sollte, weitgehend scheiterte. Dieses Übereinkommen wurde bis 1984 lediglich von 17 Staaten ratifiziert, und von 4 Staaten zwar unterzeichnet, aber nicht ratifiziert.

Siehe auch:

<https://www.nasa.gov/specials/artemis-accords/index.html>

https://en.wikipedia.org/wiki/Artemis_Accords

<https://de.wikipedia.org/wiki/Mondvertrag>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Weltraumvertrag>

#42 ISRU: Sauerstoffproduktion auf dem Mond – Erzeugung von Luft aus Regolith



Rechte Seite:
Ingenieurin der Universität von
Glasgow im ESTEC-Labor mit
Demonstrator für
Salzschmelzelektrolyse

In Vorbereitung einer nachhaltigen Exploration des Mondes steht die Versorgung mit Energie, Sauerstoff, Atemluft und Trinkwasser an vorderster Stelle. Weltweit laufen

zahlreiche Aktivitäten, um die benötigten Ressourcen vor Ort zu gewinnen und aufzubereiten (In-Situ Ressource Utilisation - ISRU).

Im Europäischen Weltraumforschungs- und Technologiezentrum ESTEC (Noordwijk, NI) wurde in Zusammenarbeit mit der Universität Glasgow ein Prototyp einer Sauerstoffanlage aufgebaut, welche zukünftig auf dem Mond Sauerstoff aus dem Mondgestein gewinnen soll. Proben von dem Mondgestein bestätigen, dass der Regolith zu 40–45 Gewichtsprozent aus Sauerstoff besteht, seinem am häufigsten vorkommenden Element. Dieser Sauerstoff ist jedoch chemisch als Oxid in den Mineralien oder in Glas gebunden und steht somit nicht unmittelbar zur Verfügung. Die in einem ESTEC-Labor getestete Sauerstoffextraktion erfolgt mit einer Methode namens Salzschnmelzelektrolyse. Hierbei wird Regolith zusammen mit Calciumchlorid auf 950 °C erhitzt. Bei dieser Temperatur bleibt der Regolith zwar fest, das Salz schmilzt allerdings und fungiert als Elektrolyt. Das Hindurchleiten eines Stroms bewirkt, dass der Sauerstoff aus dem Regolith extrahiert- und über das Salz in Richtung der Anode transportiert wird. Darüber hinaus wandelt dieser Prozess als nutzbarer „Seiteneffekt“ den Regolith auch in verwendbare Metalllegierungen um.

#43 ISRU: Biomining auf dem Mond



Linke Seite: ESA Astronaut Luca Parmitano bei der Durchführung eines biologischen Experiments mit dem Bakterium *Sphingomonas desiccabilis*. Dieses Bakterium wächst auf Basalt reichert Elemente seltener Erden an.

Neben chemischen Verfahren zum Abbau und der Aufbereitung von Ressourcen ist auch der Einsatz biologischer Verfahren eine Option. Hierbei können bestimmte Bakterien zum Einsatz kommen, die auch unter extremen Temperaturen und Druckverhältnissen ihren Metabolismus aufrechterhalten- und dabei bestimmte Elemente anreichern können. Entsprechende Versuche laufen bereits an Bord der ISS.

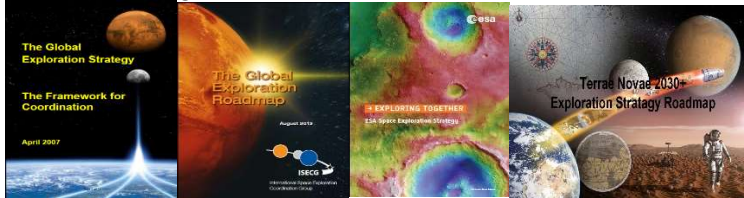
#44/45 Pläne für aufblasbare Habitate



In einer Kooperation zwischen der Abteilung für Luftfahrt am MIT und dem US-amerikanischen Architektur-, Innenarchitektur-, Ingenieur- und Stadtplanungsbüro Skidmore, Owings & Merrill wurde in einer Studie ein innovativer Vorschlag für eine aufblasbare Strukturthermententechnologie erarbeitet. Das aufblasbare vierstöckige Mondhabitat soll am Rande des Shackleton-Kraters in der Nähe des Mond Südpols platziert werden, und damit Zugang zu nahezu kontinuierlichem Sonnenlicht und Mondwasser-Eisablagerungen in angrenzenden Kratern bieten. Nach Aufblasen vergrößert sich das Habitat auf das Doppelte seines ursprünglichen Innenvolumens. Die Mannschaftsunterkünfte für vier Personen würden sich im Erdgeschoss befinden, um den Strahlenschutz zu maximieren. Das Habitat

würde auf der Erde komplett ausgestattet und getestet, bevor es auf der Mondoberfläche errichtet und entfaltet wird. Mit einer Masse von mehr als 58 Tonnen würde dieses Element allerdings eine sehr schubstarke Trägerrakete, wie eine zukünftige Version von SLS oder des SpaceX Starships, benötigen.

#46 Strategischer Rahmen für robotische und astronautische Exploration



2006 wurde von 14 Raumfahrtagenturen ein internationales Forum zur Koordinierung von Explorationsaktivitäten gegründet: die International Space Exploration Coordination Group (ISECG). Zu den Gründungsmitgliedern gehören: ASI (I), CNES (F), CNSA (China), CSA (Can), CSIRO (Australien), DLR (D), ESA, ISRO (India), JAXA (Japan), KARI (Republic of Korea), NASA (USA), NSAU (Ukraine), RSC (Ru), UKSA (UK). Innerhalb eines Jahres wurde von ISECG eine „globale Explorationsstrategie“ (GES) entworfen (April 2007), welche einen ersten Anhalt für ein koordiniertes Vorgehen der Raumfahrtagenturen darstellte.

Im Jahre 2012 begann die ESA zusammen mit ihren Mitgliedsländern mit der Entwicklung einer europäischen Explorationsstrategie, die auf der Ministerrats-konferenz 2014 in Luxemburg von den Mitgliedsländern genehmigt wurde. Die europäische Explorationsstrategie basiert auf 3 Zielen und ist auf die Durchführung von Missionen zu diesen 3 Zielen fokussiert:

- erdnahe Weltraum (LEO),
- Mond,
- Mars.

Ein zentrales Element für die Erreichung dieser strategischen Ziele sind internationale Kooperationen. Diese Strategie wurde in den vergangenen Jahren weiterentwickelt. Im Frühjahr 2022 stellte das Direktorat für astronautische und robotische Exploration (HRE) den ESA-Mitgliedsländern eine überarbeitete Version der aus 2012 stammenden Strategie vor: die „Terra Nova 2030+ Strategic Roadmap“.

Seit 2014 haben sich die programmatischen Planungen internationaler Agenturen, maßgeblich von CNSA, den ISS-Partnern (CSA, ESA, JAXA, NASA, RSC) für die Erreichung der 3 Ziele (LEO, Mond, Mars) weiterentwickelt und konkretisiert. Die NASA stellte ihre Planung für die Erkundung des Cis-Lunaren Raumes vor (IECS – International Exploration of Cis-Lunar Space), und der 2015 neu gewählte ESA-Generaldirektor präsentierte auf internationaler Ebene sein Konzept eines „Lunar Village“. Diese programmatischen und technischen Entwicklungen in Europa und bei den internationalen Partnern, insbesondere der NASA, CSA und JAXA, wurden in der weiterentwickelten Explorationsstrategie der ESA mit berücksichtigt.

Inzwischen gehören der ISECG 26 Agenturen an. Neben den o.g. 14 Gründungsmitgliedern sind inzwischen folgende Raumfahrtagenturen beigetreten: AEB (Brasilien), AEM (Mexiko), ASA (Australien), GISTDA (Thailand), LSA (Lux), NSA (N), POLSA (PI), PTS (P), ROSA (Ro), SERI (CH), UAESA (VAE), VNSC (Vietnam).

Siehe auch ESA Exploration Strategy:

<http://youbenefit.spaceflight.esa.int/esa-space-exploration-strategy/>

https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/Exploration/Terra_Novae_Europe_s_exploration_vision)

ISECG Global Exploration Roadmap:

https://www.globalspaceexploration.org/wordpress/wp-content/isecg/GER_2018_small_mobile.pdf

NASA Global Exploration Strategy:

https://www.nasa.gov/pdf/296751main_GES_framework.pdf

#47 Europäisches Explorations-Rahmenprogramm (E3P)

Innerhalb der ESA waren Explorationsaktivitäten bis zum Jahre 2015 auf zwei Direktorate verteilt. Während das ISS-Programm und die Aktivitäten zur robotischen und astronautischen Exploration des Mondes dem Direktorat „Human and Robotic Exploration (HRE)“ zugeordnet waren, lag die Zuständigkeit für das ExoMars-Programm beim ESA-Direktorat für Wissenschaftsmissionen. Um die programmatische Planung im Bereich der Exploration besser aufeinander abzustimmen, und Synergien in der Entwicklung von Explorationstechnologien besser zu nutzen, wurde das ExoMars-Programm 2015 an das HRE-Direktorat übertragen und in einem Explorations-Rahmenprogramm zusammengefasst (European Exploration Envelope Programme – E3P). Die Neustrukturierung aller Explorationsaktivitäten in 6 Bereiche wurde 2016 durch die ESA- Mitgliedsländer im Rahmen der Ministerratskonferenz in Luzern unterstützt:

- Cornerstone 1: Humans in LEO (ISS, post ISS Scenarios)
- Cornerstone 2: Humans beyond LEO (Europ. Beteiligung an ARTEMIS)
- Cornerstone 3: Robotic Lunar Exploration (Missionen mit US und RSC)
- Cornerstone 4: Robotic Mars Exploration (Missionen mit NASA und RSC)
- ExPeRT (Exploration Preparatory Research and Technology)
- SciSpace (Preparation of all scientific activities related to ESA's exploration Missions)

#48 „ExPeRT“ – Entwicklung von Explorationstechnologien



Im Rahmen des E3P Programmelements ExPeRT werden zahlreiche System Studien und Vorentwicklungen zu neuen Technologien durchgeführt, sowie Kooperationen im Bereich von Explorationstechnologien mit internationalen Partnern vorbereitet. Die Entwicklungsthemen umfassen folgende Bereiche:

- GNC, Energie und Robotik für komplexe Anwendungen
- Leitungsfähige elektrische Reaktionsantriebe
- Strahlungsschutz außerhalb des Van-Allen Gürtels
- Lebenserhaltungssysteme mit geschlossenen Kreisläufen
- Nutzung von In-Situ Ressourcen
- „exotische Ideen“ (z.B. künstliche Gravitation – rotierende Habitate)

Der Einsatz von KI ist ein zentrales Element all dieser Entwicklungen und Aktivitäten

#49 Gesellschaftliche Relevanz der Exploration

Wissenschaftliche Dimension

- Erweiterung unseres Wissens
- Existenz und Ursprung von Leben
- Verstehen physikalischer Phänomene; angewandte Forschung

Ökonomische-/ Technologische Dimension

- Generierung eines konkreten Nutzens – Entwicklung neuer Technologien und Prozesse, Spin-Off /Spin-In
- Entwicklung wettbewerbsfähiger Kapazitäten

Politische Dimension

- Politische Dimension: Weiterentwicklung und Stärkung internationaler Zusammenarbeit
- Funktionale Dimension: Teilen von Ressourcen und gemeinsame Nutzung vorhandener Kapazitäten

Gesellschaftliche/kulturelle Dimension

- Inspiration und Motivation (insbesondere für MINT-Themen)
- Neugierde

#50 Überblick zukünftiger Mondmissionen – Stand 2020



Die Graphik zeigt mit dem Stand 2020 einen Überblick der seither geplanten institutionellen- und kommerziellen Mondmissionen.

#51 Aktive und geplante Mondmissionen – aktueller Stand (Mai 2023)

Gegenwärtig befinden sich 4 aktive Sonden, sowie 3 Cubesats im Mondorbit:

Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO)	NASA	06/ 2009
Chandrayaan-2	ISRO	07/ 2019
Chang'e 5	CNSA	11/ 2020
Danuri	KARI	08/ 2022

Cube Sats

Capstone	NASA	06/ 2022
LunarH-Map	NASA	11/ 2022 (beide gestartet mit
Lunar IceCube	NASA	11/ 2022 Artemis- I)
Lunar Flashlight	NASA	12/ 2022

Folgende Missionen sind in diesem und kommendem Jahr geplant:

Peregrine-1	Astrobotics	05/ 2023
IM-1	Intuitive Machines	06/ 2023
Luna 25	RSC net.	10/ 2023
IM-2	Intuitive Machines	11/ 2023
L. Trailblazer	NASA	11/ 2023
Masten-1	Masten	11/ 2023
SLIM	JAXA	tbd. 2023
Dear Moon	SpX	tbd. 2023
Artemis II	NASA	11/ 2024

Nach gegenwärtigem Stand sind darüber hinaus bis 2028 mehr als 20 weitere Missionen geplant.

#52 Fluggelegenheiten für europäische Astronauten/innen

Für das Astronautencorps der ESA bestehen bis zum Ende dieses Jahrzehnts folgende Fluggelegenheiten:

- ISS 1 Mission pro Jahr (d.h. bis 2030 noch etwa 6 Fluggelegenheiten)
- Gateway 3 Fluggelegenheiten bis 2030, beginnend mit Artemis 3
- Mondoberfläche - eine Fluggelegenheit voraussichtlich Ende dieses Jahrzehnts

#53 Weitere Informationen zur Exploration des Mondes

<https://lunarexploration.esa.int>

<https://discover.esa.int/#/>