

GNSS für den Mond

Martin Bünnagel

■ **Mit der Rückkehr zum Mond und mehr als 40 internationalen Missionen bricht in der kommenden Dekade nicht nur für die Menschheit ein neues Zeitalter an, sondern auch für die beteiligten Raumfahrtorganisationen. Präzise Navigation und Positionsbestimmung werden zum Schlüsselfaktor beim neuen Wettlauf zum Mond. Mit Artemis, dem LunaNet und einem eigenen »Global Navigation Satellite System« (GNSS) starten NASA und ESA zum Mond, um diesmal zu bleiben.**

Odysseus brach sich ein Bein. Die vier Meter hohe Sonde sollte Ende Februar dieses Jahres einen Landeplatz für die Rückkehr des Menschen zum Mond erkunden – und kippte um. Wo genau, blieb zunächst unklar. Denn bis heute kann die Position eines Raumfahrzeugs auf dem Mond nur durch irdische Parabolantennen bestimmt werden, die zu festgelegten Zeiten Funksignale von Mondmissionen empfangen.

Oder durch Sichtkontakt: Der Mondsatellit »Lunar Reconnaissance Orbiter« der NASA (National Aeronautics and Space Administration) spähte tagelang aus seiner Umlaufbahn nach der Landefähre des US-Unternehmens »Intuitive Machine«, das im Auftrag der NASA zu unserem Trabanten flog – der ersten US-Mondlandung seit mehr als 50 Jahren.

Bis heute braucht man für die Landung auf dem Mond vor allem viel Glück. In den Jahren 2020 bis Anfang 2024 hatten die meisten der neun Missionen mit Kommunikations- und Navigationsproblemen zu kämpfen – der Mond stellt die Raumfahrt noch immer vor die gleichen Probleme wie in den 1960er und 1970er Jahren.

Rückkehr zum Mond

Die Mondgöttin Artemis gibt der Rückkehr zum Mond ihren Namen – mit einem Volumen von 93 Milliarden US-Dollar. Das Programm von NASA, ESA (European Space Agency), Kanada und Japan ist weitaus umfangreicher als das Apollo-Programm der 1960er Jahre. Denn die westliche Staatengemeinschaft fliegt nun zum Mond, um zu bleiben.

Mit Apollo 11 glückte 1969 die Landung der NASA, was nun für Artemis 3 vorgesehen ist. Ursprünglich für das Jahr 2025 geplant, liegt sie weit hinter dem Zeitplan. Die NASA rechnet mit der Landung von Artemis 3 in der Südpolregion nun frühestens für den September 2026.

Mit LunaNet und GNSS

Gelingt der ehrgeizige Plan, wird er ein weiterer großer Schritt für die Menschheit, aber nur ein erster für das am-

bitionierte Artemis-Programm von NASA und ESA, das nicht nur eine Raumstation (Gateway) im Orbit und eine Mondbasis vorsieht, sondern auch eine eigene Kommunikations- und Navigationsinfrastruktur für den Mond – das LunaNet.

Da in Zukunft Dutzende von Missionen auf und um den Mond operieren werden, die miteinander kommunizieren und ihre Positionen unabhängig von der Erde bestimmen müssen, ist LunaNet als Infrastruktur-Dienst geplant, für den NASA und ESA auch ein eigenes »Global Navigation Satellite System« (GNSS) für den Mond realisieren wollen.

Denn nicht nur das Landen ist schwierig, auch das Bleiben ist schwer. Es gibt unzählige Krater, Tiefebenen, Hochländer und Schluchten. Besonders der Südpol des Mondes und Landeregion des Artemis-Programms ist sehr zerklüftet. Das erschwert eine sichere Landung und den Empfang von Navigations- und Kommunikationssignalen bei Fahrten von Rovern und Explorationen.

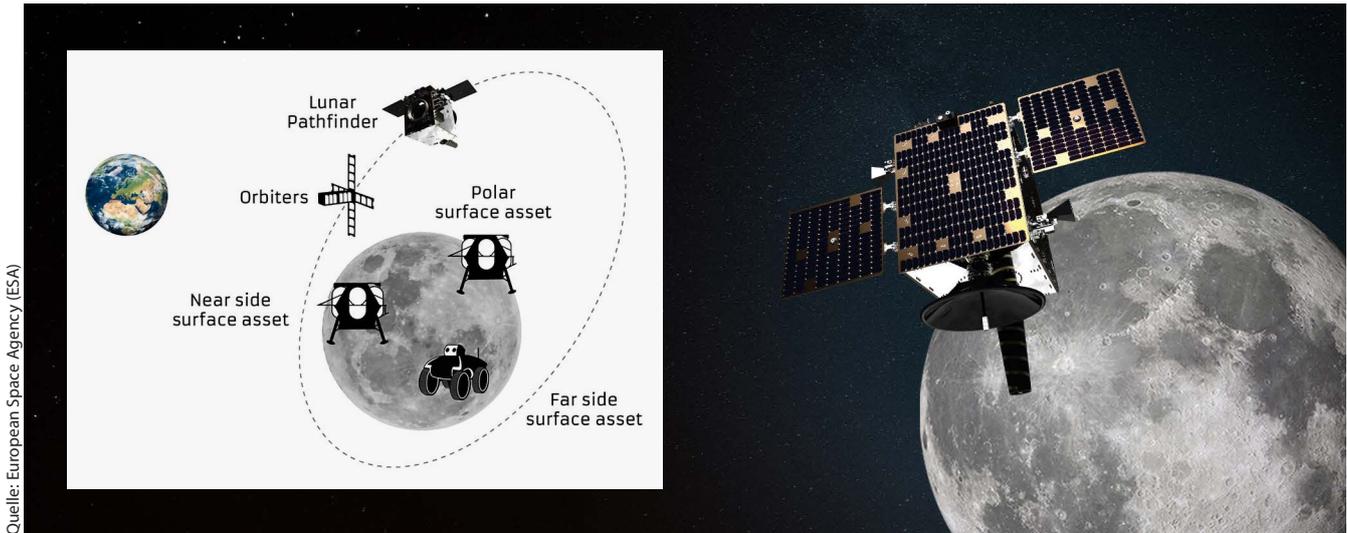
Auch die Zeit vergeht auf dem Mond durch seine geringere Schwerkraft um etwa 50 Mikrosekunden pro Tag schneller als auf der Erde. Und durch das sogenannte Drei-Körper-Problem gibt es nur wenige stabile Mondumlaufbahnen für Satelliten und Raumstationen. Denn neben der Anziehungskraft des Mondes wirkt hier auch die relativ große Gravitationskraft der Erde. Dies alles macht den Mond technologisch komplex.

Doch die neue Ära des Mondes soll allen offen stehen. »LunaNet ist ein Rahmenwerk von gemeinsam vereinbarten Standards, die es künftigen Mondmissionen ermöglichen sollen, zusammenzuarbeiten. Das Konzept ähnelt dem, das wir auf der Erde für die gemeinsame Nutzung von GPS und Galileo entwickelt haben«, erklärt Javier Ventura-Traveset, der Moonlight Navigation Manager der ESA, der die Beiträge der ESA zu LunaNet koordiniert.

Mondzeit und selenozentrischer Bezugsrahmen

Für die Öffentlichkeit kaum wahrnehmbar laufen seit Jahren internationale Verhandlungen für die Realisierung des Rahmenwerks von LunaNet. Die Einführung einer eigenen Mondzeit, um ein GNSS zu realisieren, ist dabei ein wichtiger Punkt. Denn bislang arbeitet jede neue Mondmission mit ihrer eigenen von der Erde exportierten Zeitskala, die durch das jeweilige Team auf der Erde mit der koordinierten Weltzeit (UTC) verknüpft wird.

Aber spätestens dann, wenn ein Mond-GNSS realisiert werden soll, ist eine genaue Zeitmessung und deren Synchronisierung unerlässlich. Denn ein Satellitennavigationsempfänger bestimmt seinen Standort, indem er die Laufzeiten von Satellitensignalen in Entfernungsmaße umrechnet. Für die Festlegung eines Mondstandards müssen mindestens drei Hauptuhren installiert werden, die von



Quelle: European Space Agency (ESA)

Lunar Pathfinder der ESA, an Bord der Satelliten-Empfänger NaviMoon. Im nächsten Schritt sollen mehrere mit NaviMoon ausgestattete Satelliten als Mond-GNSS funktionieren.

einem Algorithmus kombiniert werden müssen, um eine genauere virtuelle Uhr für ein Mond-GNSS zu erzeugen.

Und schließlich muss sich die internationale Gemeinschaft auch auf einen gemeinsamen »selenozentrischen Bezugsrahmen« einigen, ähnlich der Rolle, die auf der Erde der Internationale Terrestrische Bezugsrahmen einnimmt und die Messung präziser Entfernungen zwischen Punkten auf unserem Planeten ermöglicht (siehe dazu auch den Beitrag von Monika Rech: »ITRF2020: Mit Präzision das System Erde verstehen«, zfv 4/2022) Ein solcher Bezugsrahmen wird auch für ein Mond-GNSS benötigt. Es gibt viel zu verhandeln.

GPS und Galileo

Für die Realisierung des Mond-GNSS und der Kommunikationsdienste setzen NASA und ESA auf Arbeitsteilung. Aber auch auf einen technologischen Wettlauf. Die Europäer gehen mit ihrem Moonlight-Programm ins Rennen.

In einem ersten Schritt wollen die beiden Raumfahrtagenturen ab 2024 versuchen, Positionen auf dem Mond mit Hilfe der schwachen Navigationssignale zu bestimmen, die die 31 GPS- und 22 Galileo-Satelliten in der Erdumlaufbahn aussenden und die Erde in einer Distanz von rund 20.000 Kilometern umkreisen. Der Mond ist im Mittel 385.000 Kilometer von der Erde entfernt. Die Sendeantennen der Satelliten sind auf die Erde gerichtet. Den Mond erreichen nur seitlich abgestrahlte und wenige rückwärts abgestrahlte Signale. Zudem von Satelliten, die sich auf der anderen Seite der Erdkugel befinden, aber durch den Erdschatten verdeckt und durch Atmosphäre und Ionosphäre beeinflusst werden. So kommen die GPS-Signale auf dem Mond ungefähr 1000-mal schwächer an als auf der Erde.

Um die Verwendung der schwachen Signale zu testen, wird die NASA 2024 das »Lunar GNSS Receiver Experiment« (LuGRE) starten, bei dem ein Empfänger auf der Mondoberfläche platziert wird, der die schwachen GPS- und Galileo-Signale von der Erde empfangen kann. Die

NASA will die Daten nutzen, um Satellitennavigationssysteme für den künftigen Einsatz auf und um den Mond zu entwickeln.

Moonlight und NaviMoon

Im kommenden Jahr startet die ESA mit Lunar Pathfinder einen Mondorbit-Satelliten. An Bord wird der Satelliten-Empfänger NaviMoon sein, der ebenfalls die Signale von GPS- und Galileo-Satelliten empfangen kann. Zudem Inertialsensoren, mit denen die Anziehungskraft von Erde, Sonne und Mond gemessen werden kann, um den eigenen Standort kombiniert mit den schwachen GNSS-Signalen von der Erde mit einer Genauigkeit von weniger als 100 Metern zu bestimmen.

Der Nachweis, dass ein NaviMoon-Empfänger sich selbst orten kann, ist aus Sicht der Europäer nur der erste Schritt. Der nächste soll darin bestehen, dass mehrere mit NaviMoon ausgestattete Satelliten wie ein eigenes GPS- oder Galileo-Netzwerk für den Mond funktionieren und Signale an Astronauten, Rover und andere Raumfahrzeuge auf der Mondoberfläche senden.

Die ESA strebt mit ihrer Moonlight-Initiative die anfängliche Platzierung von drei bis vier Satelliten in der Mondumlaufbahn an, die sich auf den Mondsüdpol konzentrieren, wo die meisten Missionen geplant sind, da dort Wasser vermutet wird. Das System ist erweiterbar und kann schließlich eine vollständige Abdeckung der Mondoberfläche erreichen.

Odysseus konnte von diesen Plänen Anfang 2024 noch nicht profitieren. Am 24. Februar überflog die NASA-Raumsonde Lunar Reconnaissance Orbiter das Landgebiet in einer Höhe von rund 90 Kilometern und fotografierte dabei den Lander. Odysseus lag nach seiner Odyssee 1,5 Kilometer entfernt von der angepeilten Landestelle im Krater Malapart A.

Kontakt: martin.buennagel@zon-verlag.de