

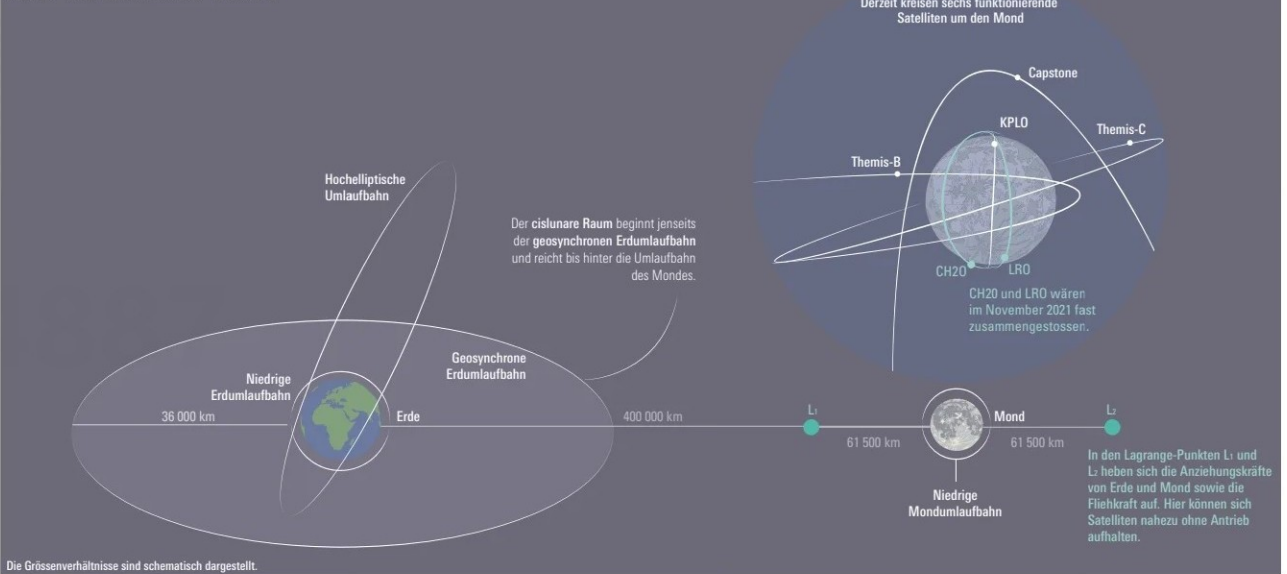
Neue Zürcher Zeitung

NZZ – GEGRÜNDET 1780

Samstag, 6. April 2024 · Nr. 80 · 245. Jg.

AZ 8021 Zürich · Fr. 6.10

Karte des cislunaren Raums



Die Grössenverhältnisse sind schematisch dargestellt.

QUELLEN: THE SPACE OPTION, ISRO

Der Schrott im Mond

Im erdnahen Weltraum sind abgebrannte Raketenstufen und anderer Abfall zum Problem für die Raumfahrt geworden. Die geplanten Mondmissionen verheissen nichts Gutes. VON CHRISTIAN SPEICHER (TEXT), ANJA LEMCKE (INFOGRAFIK)

Im November 2021 veröffentlichte die indische Raumfahrtbehörde eine Meldung, die damals kaum Beachtung fand. Der indische Mondorbiter Chandrayaan-2 hatte kurzfristig seine Bahn ändern müssen. Sonst hätte er sich dem ebenfalls um den Mond kreisenden Lunar Reconnaissance Orbiter der Nasa bis auf drei Kilometer angenähert. Das Risiko, dass die beiden Satelliten kollidieren und zerschellen, wollte man nicht eingehen.

Die indische Raumfahrtbehörde spielte die Angelegenheit herunter. Im Weltraum sei es nichts Aussergewöhnliches, dass ein Satellit einem anderen Satelliten oder einem Stück Weltraumschrott ausweichen müsse. Man verfolge ständig, wo eine Kollision drohe. Wenn das Risiko zu gross werde, leite man ein Ausweichmanöver ein.

Das ist richtig und stimmt doch nicht ganz. Tatsächlich verfolgen Institutionen wie das amerikanische Space Surveillance Network mit Radaranlagen und Teleskopen den um die Erde kreisenden Weltraumschrott. Jeder verlorengangene Schraubenzieher ist katalogisiert. So sind die Weltraumbehörden gewappnet, wenn ein Objekt auf einen Satelliten oder die Internationale Raumstation zu rast und sie zu zerstören droht.

Im cislunaren Raum zwischen Erde und Mond sieht das jedoch ganz anders aus. Man kennt zwar die Bahnen von einigen Satelliten und Raketenstufen, die zum Mond geschickt wurden. Doch die Übersicht ist unvollständig. «Es gibt bis heute keinen Katalog der Objekte, die zwischen Erde und Mond ihre Bahnen ziehen», sagt Tim Flohrer, der bei der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) das Space Debris Office leitet.

Noch ist das kein gravierendes Problem. Laut Schätzungen gibt es derzeit weniger als 200 Objekte im cislunaren Raum. Das ist kein Vergleich zu den mehr als 36 000 über 10 Zentimeter grossen Objekten, die man im Erdbit vermutet und von denen 25 000 bekannt sind. Dabei wird es nicht bleiben. In den nächsten Jahren wollen zahlreiche Länder unbemannte Sonden zum Mond schicken, um eine Besiedlung vorzubereiten. Unterstützt werden sie von einer wachsenden Zahl privater Firmen, die wirtschaftlich vom Mond profitieren wollen.

Selbst wenn die Missionen gelingen, bleiben abgebrannte Raketenstufen zurück. Es ist also damit zu rechnen, dass sich der Weltraumschrott zwischen Erde und Mond in den nächsten Jahren häufen wird. Damit steigt die Gefahr, dass es zu Kollisionen kommt oder Weltraumschrott ohne Vorwarnung auf dem Mond einschlägt. Das Bewusstsein für diese Problematik wachse, sagt Flohrer. Die ESA mache derzeit eine Vorstudie, die zeigen soll, was es für eine Überwachung des cislunaren Raums brauche.

In den USA ist man bereits einen Schritt weiter. Dort haben zwei Wissenschaftler von der University of Arizona vor drei Jahren damit begonnen, Objekte zu identifizieren und einen Katalog des lunaren Weltraumschrotts zu erstellen. Das Projekt wird mit 75 Millionen Dollar vom Forschungslabor der Air Force unterstützt.

Der Ingenieur Roberto Furfaro und der Astronom Vishnu Reddy verwenden für die Suche ein 61-Zentimeter-Teleskop, das den Himmel Nacht für Nacht absucht. Eines der ersten Objekte, die sie mit diesem Teleskop verfolgten, war die chinesische Raumsonde Chang'e 5, die im Dezember 2020 auf dem Mond landete. Die beiden Forscher konnten die Sonde bis in den sogenannten Cone of Shame (Schandfleck) hinein verfolgen. So nennt man den Kegel zwischen Erde und Mond, in dem Objekte besonders schwer nachzuweisen sind, weil sie vom Mond überstrahlt werden wie ein Glühwürmchen von einem Autoscheinwerfer.

Es braucht ein Warnsystem

Die ersten Objekte, die Furfaro und Reddy zwischen Erde und Mond verfolgten, waren gross wie ein Schulbus. Inzwischen gelinge es, auch kleinere Objekte wie Cubesats zu erkennen, schrieb Reddy kürzlich in einem Gastbeitrag für das Nachrichtenmagazin «The Conversation».

Die beiden Forscher waren es auch, die das Rätsel um das mysteriöse Objekt WE0913A lösten, das am 4. März 2022 nach mehreren Vorbeiflügen auf dem Mond einschlug und dort einen 29 Meter breiten Krater hinterliess. Als das Objekt zuerst geschickt wurde, hielt man es für eine Oberstufe einer Rakete von

SpaceX, die im Jahr 2015 einen Klimasatelliten in den erdfernen Weltraum gebracht hatte.

Die beiden Forscher konnten zeigen, dass das nicht stimmt. Sie verfolgten die Bahn des Objekts bis zu ihrem Start im Jahr 2014 zurück. So fanden sie heraus, dass es sich um die Oberstufe einer chinesischen Rakete vom Typ Langer Marsch handelt. Anhand der Bahndaten konnten die beiden Forscher auch berechnen, wo die Raketenstufe wenige Wochen später auf dem Mond einschlagen würde. Ihre Vorhersage wurde später durch Bilder des Lunar Reconnaissance Orbiter bestätigt. Der neu entstandene Krater war nur 75 Kilometer von der prognostizierten Absturzstelle entfernt.

Das Beispiel zeigt, dass ein Katalog des Weltraumschrotts in doppelter Hinsicht hilfreich wäre. Er würde nicht nur dabei helfen, Kollisionen im Weltraum zu vermeiden. Er könnte auch vor drohenden Einschlägen auf dem Mond warnen. Anders als die Erde besitzt der Mond keine schützende Atmosphäre. Wenn also ein Stück Weltraumschrott auf die Mondoberfläche zu rast, verglüht es nicht. Zukünftige Siedler müssten sich deshalb rechtzeitig in Sicherheit bringen, wenn ein Einschlag in ihrer Nähe drohen würde.

Trümmer gefährden Satelliten

Der Weltraumschrott im cislunaren Raum bedroht nicht nur den Mond, sondern auch die Erde. Eine Besonderheit des cislunaren Raumes ist, dass die Trümmer sowohl die Anziehungskraft der Erde als auch die des Mondes spüren. Das macht die Berechnung ihrer Bahnen zu einer komplizierten Angelegenheit.

Solche Berechnungen sind das Spezialgebiet der Raumfahrtingenieurin Carolin Frueh von der Purdue University. Mit aufwendigen Computersimulationen untersucht sie, was mit den Trümmern geschieht, die bei der Explosion einer Raketenstufe oder der Kollision zweier Satelliten entstehen. Ihre Berechnungen zeigen, dass die Trümmer im cislunaren Raum nicht notwendigerweise in der Nähe ihrer ursprünglichen Umlaufbahnen bleiben. Ein Teil der Trümmer entkommt dem Erde-

Mond-System komplett, andere Objekte werden Richtung Erde geschleudert.

Das sei eine zusätzliche Gefahr für die um die Erde kreisenden Satelliten, sagt Frueh. Sie könnten nicht nur vom Weltraumschrott im erdnahen Weltraum getroffen werden, sondern auch von Objekten, die aus der Umgebung des Mondes kämen. Schon ein einziges Fragmentierungsereignis im cislunaren Raum, so Frueh, könne erhebliche und langanhaltende Folgen haben.

Für Flohrer ist deshalb klar, dass der cislunare Raum ebenso geschützt werden muss wie der erdnahe Weltraum. Deshalb sei das Erde-Mond-System auch Teil der Zero Debris Policy der ESA. Diese zielt darauf ab, bis 2030 die Produktion von Weltraumschrott deutlich zu begrenzen. Wie das gehen kann, demonstrierte die ESA beim Start des James-Webb-Weltraumteleskops im Dezember 2021. Nachdem die Oberstufe der Ariane-5-Rakete das Teleskop an seinen Zielort gebracht hatte, nutzte sie ihren restlichen Treibstoff, um dem Einflussbereich von Erde und Mond zu entkommen und in die Weiten des Sonnensystems zu entschwinden.

Keine verbindlichen Vorgaben

Leider ist das bis heute die Ausnahme. Oft genügt der restliche Treibstoff nicht, um eine Raketenstufe oder einen ausgedienten Satelliten aus dem Erde-Mond-System zu katapultieren. Eine andere Option wäre es, den Weltraumschrott gezielt auf den Mond stürzen zu lassen. Aus der Perspektive des Planetenschutzes wäre das ein Albtraum, sagt Frueh. Denn ohne Atmosphäre verblühe der Weltraumschrott nicht. Was bleibt, ist, den restlichen Treibstoff aus den Tanks abzulassen. So lässt sich verhindern, dass er sich erhitzt und die Rakete explodiert. Aber selbst das ist bis jetzt keine verbindliche Vorgabe für Mondmissionen.

Es fehle derzeit noch an Lösungen, wie sich der Weltraumschrott im cislunaren Raum vermeiden lasse, sagt Frueh. Trotzdem seien in den nächsten Jahren zahlreiche Mondmissionen geplant. Frueh befürchtet deshalb, dass man auf dem Mond früher oder später mit den gleichen Problemen konfrontiert sein wird wie auf der Erde.

«Es gibt bis heute keinen Katalog der Objekte, die zwischen Erde und Mond ihre Bahnen ziehen.»

Tim Flohrer
Leiter des Space Debris Office der ESA