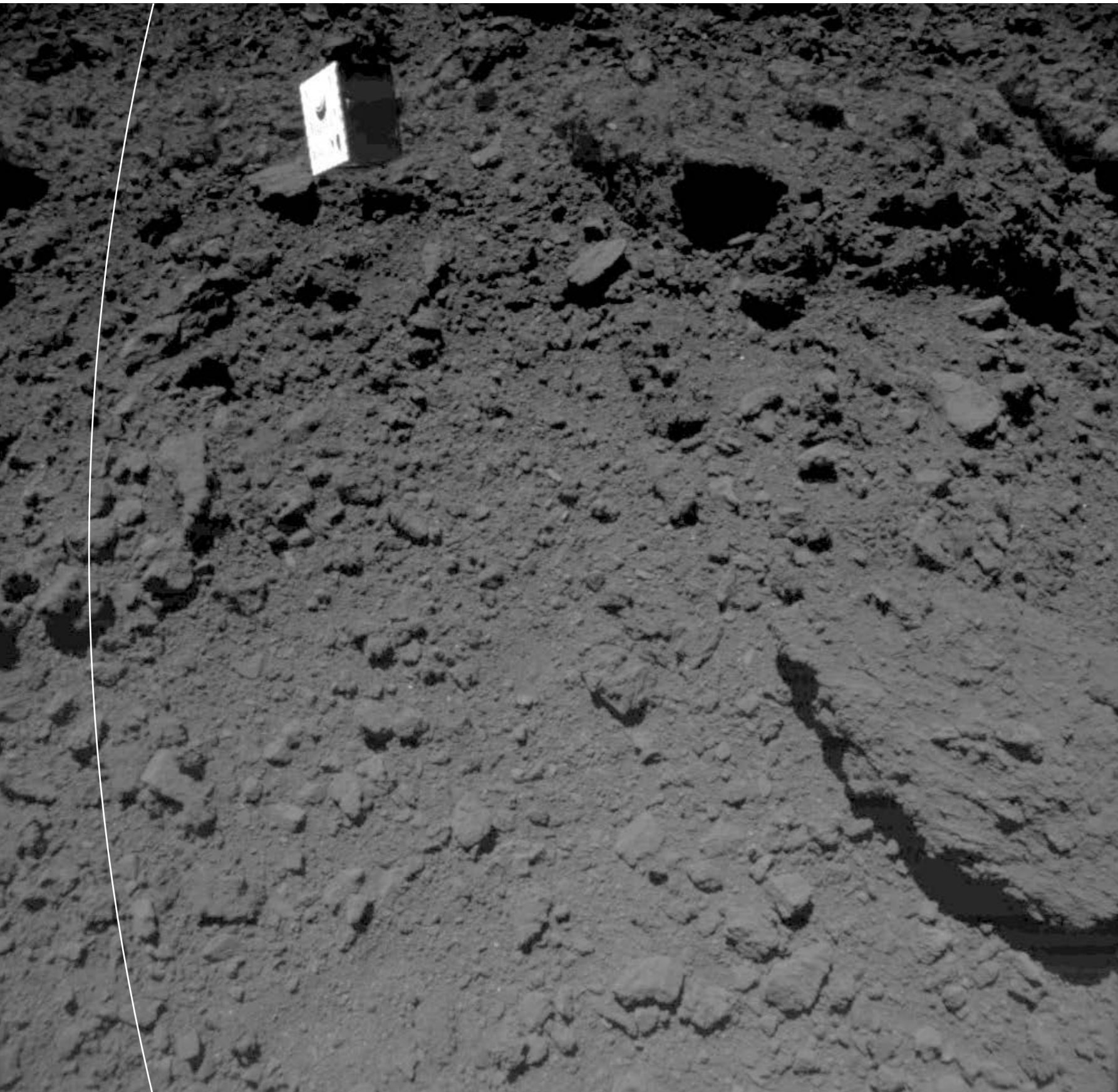


## MASCOT IM WUNDERLAND

Mit der Mission Hayabusa2 geht die Weltraumforschung neue Wege

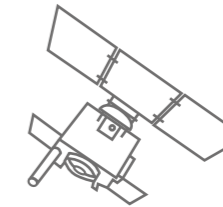
LEISER FLIEGEN  
AUTOMATISIERTE FAHREN



Ein Foto, das im Buch der sechzigjährigen Raumfahrtgeschichte einen prominenten Platz bekommen wird: Das Bildaufnahmesystem der Raumsonde Hayabusa2 hält kurz nach dem Abtrennen von MASCOT in 51 Meter Höhe den Fall des deutsch-französischen Landemoduls über der von Steinen und Geröll übersäten Oberfläche von Ryugu fest.

Bild: JAXA/UTokyo/Kochi-UR/RIKYO U/Nagoya U/Chiba Inst Tech/Meiji U/U Aizu/AIST

# MASCOT IM WUNDERLAND



Den Tag der Deutschen Einheit 2018 werden diejenigen, die ihn im DLR-Nutzerzentrum für Weltraumexperimente in Köln verbrachten, nicht vergessen. Denn es wurde ein ganz spezieller ‚Feiertag‘. Er fing für die Mannschaft im Kontrollzentrum früh an. Schon am Abend zuvor waren die meisten da. Kurz nach Mitternacht trafen auch die restlichen Wissenschaftler aus Deutschland, Frankreich und Japan ein. Vier Experimente, vier Teams. Es war eine leise, konzentrierte Atmosphäre inmitten dutzender Monitore und aufgeklappter Laptops, voller Spannung. Alle versuchten, so gelassen wie nötig, aber eben auch so fokussiert wie möglich zu sein. Denn in etwa 300 Millionen Kilometer Entfernung zur Erde, auf der anderen Seite der Sonne, würde es um 3 Uhr 57 und 21 Sekunden in 51 Meter Höhe über dem kleinen Asteroiden Ryugu geschehen und dann ohne die Möglichkeit, noch Einfluss zu nehmen, seinen Lauf nehmen: Das Experiment MASCOT – die Landung eines Kastens in der Größe einer Küchenmikrowelle, vollgepackt mit robotischer Hightech, auf einem noch nicht einmal 900 Meter großen Asteroiden namens Ryugu.

Mit der Mission Hayabusa2 und dem Lander MASCOT geht die Weltraumforschung neue Wege

Von Ulrich Köhler

„Die Abtrennung von Hayabusa2 ist bestätigt“, gibt MASCOT-Projektleiterin Tra-Mi Ho vom DLR-Institut für Raumfahrtssysteme bekannt. „Die Signale vom Magnetometer zeigen es an.“ – Riesenjubiläum! Alles verläuft wie geplant. Nominal. Nominal ist das Zauberwort der Raumfahrt: Alles im Soll. Dann wieder Stille. Warten auf den wichtigsten Moment der Mission. MASCOT hat kein Antriebssystem und nähert sich Ryugu im freien Fall mit einer Geschwindigkeit von wenigen Zentimetern pro Sekunde. Eingriffe von der Bodenstation sind nicht möglich und geradezu sinnlos, denn die Laufzeit eines Funksignals beträgt über 17 Minuten – für die einfache Strecke. Schon nach sechs Minuten und somit zehn Minuten früher als erwartet, um 4.03 Uhr, meldet Flugleiter Christian Krause: „MASCOT hat Bodenkontakt“. Verhaltener Jubel nur, denn die meisten waren vom schnellen Ende der Abstiegsphase und dem ersten Aufsetzen nach so kurzer Zeit überrascht. Schließlich würde der am DLR entwickelte deutsch-französische MASCOT, der „Mobile Asteroid Surface Scout“, von dieser Stelle der ersten Bodenberührung noch einige Meter in unkontrollierten Bewegungen zurücklegen, ehe er in der Minimalgravitation des Asteroiden seine vorläufig endgültige Position erreicht. Auch das geschieht: nominal.

MASCOT, das quaderförmige Instrumentenrack aus einem stabilen Kohlefaser-Verbundstoff in den Außenmaßen von 30 mal 20 mal 20 Zentimetern und mit einer Masse von gerade einmal zehn Kilogramm, war zum Stillstand gekommen. Der Asteroid Ryugu hat nur ein Sechshunderttausendstel der Anziehungskraft der Erde, so- dass MASCOT dort eine Gewichtskraft von weniger als einem Gramm erfährt. Das „Ausrollen“, wie bei einem Würfel auf dem Spielbrett, macht weder der Struktur etwas aus, noch der Technik und den Instrumenten in seinem Innern. Das haben die Ingenieure vorher ausgiebig getestet. MASCOT birgt vier Experimente in sich. Der Lander befand sich genau im anvisierten Landegebiet bei 310 Grad östlicher Länge und 30 Grad südlicher Breite. Die Wissenschaftler taufte es spontan „Alice’s Wonderland“, nach dem gleichnamigen Kinderbuch von Lewis Carroll.

Es war Mittag auf Ryugu, wo Tag wie Nacht nur eine Länge von dreidreiviertel Stunden haben. Die Funkverbindung zum Mutterschiff Hayabusa2, das zum Empfang der Signale von MASCOT wieder auf zehn Kilometer Höhe gestiegen war, zeigte sich stabil. Beim vorausgegangenen Abstieg hatte das Aufnahmesystem MASCAM 20 Fotos gemacht und zur Sonde übertragen. Sie zeigen im Anflug eine überall von kantigem Geröll und spitzen Steinen übersäte Asteroidenlandschaft. Auch der erste Kontakt von MASCOT mit Ryugu erfolgte an einem fünf Meter großen Felsen. Überall Geröll – nirgendwo Staub: was für eine Überraschung! Die drei Kameras von Hayabusa2 hatten den Abstieg des Experimentenpakets in zahlreichen Bildern festgehalten, sodass der Fall von MASCOT auf Ryugu und seine Ausrollbewegungen aus diesen Bildern rekonstruiert werden konnten.



Bild: JAXA

Hayabusa2 ist eine sehr komplexe Raumfahrtmission. Hauptaufgabe ist die Erforschung von Ryugu, eines kaum einen Kilometer großen erdbahnkreuzenden, primitiven Asteroiden aus der Zeit der Planetenentstehung. Höhepunkt werden drei Probenahmen im kommenden Jahr sein. Ende 2020 soll dann eine Kapsel mit Asteroidenmaterial auf der Erde ankommen.

### Landung in Rückenlage!

Bei seinem ersten Bodenkontakt prallte MASCOT zunächst ab und berührte dann noch acht Mal den Boden. Nach einer halben Stunde erreichte er seine Ruheposition. Wie im Bordcomputer einprogrammiert, begann MASCOT sofort mit den vier Experimenten auf dem Boden von Ryugu. Gleichzeitig trafen via Hayabusa2 Systemdaten von MASCOT im Kölner Kontrollzentrum ein: Ladezustand der Batterie, Temperatur der Instrumente, Speicherbelegung, Orientierungsdaten, Status der Datenübertragung. Nach deren Analyse bekamen Wissenschaftler und Missionskontrolle einen ordentlichen Schrecken, denn MASCOT lag wie ein Maikäfer auf dem Rücken. Das war zunächst nicht ungewöhnlich, denn bei einem quaderförmigen Körper mit sechs flachen Seiten ist die Wahrscheinlichkeit, dass er gleich in der richtigen, für die Experimente vorgesehenen Orientierung liegen bleibt, etwa eins zu sechs. Genau aus diesem Grund wurde für MASCOT ein System entwickelt, mit dem es automatisch seine Lage verändern kann. Ein Metallgewicht aus Wolfram kann mit einem Schwungarm in Rotation versetzt werden und sorgt so für das nötige Momentum, um MASCOT dank der geringen Anziehungskraft von Ryugu sich drehen und sogar über die Oberfläche hüpfen zu lassen.

Aber jetzt führte MASCOT diesen Schwung nicht aus! In Köln wurde kurz und intensiv beraten. Wegen der auf 16 Stunden begrenzten Kapazität der Batterie musste schnell eine Entscheidung fallen. Eigentlich hätten die Signale der Lagesensoren die ungünstige Position erkennen und autonom ein Kommando an den Schwungmechanismus senden sollen. Da dies nicht geschah, wurde entschieden, einen Befehl an den regungslosen Lander zu senden, damit er sich um 180 Grad dreht. Zwar ging dadurch wertvolle Beobachtungszeit verloren, eine Alternative gab es aber nicht. Kamera, Spektrometer und Radiometer blickten ins Weltall! Dann das große Aufatmen: Das Manöver erbrachte den gewünschten Effekt, und MASCOT war nun in einer günstigen Lage. Automatisch begannen die Instrumente, ihre Messprogramme durchzuführen. Die kleine Landesonde hatte inzwischen ihren ersten Tag-und-Nacht-Zyklus hinter sich. Um 9.52 Uhr, fast sechs Stunden nach dem ersten Kontakt, begann der zweite Tag auf Ryugu.

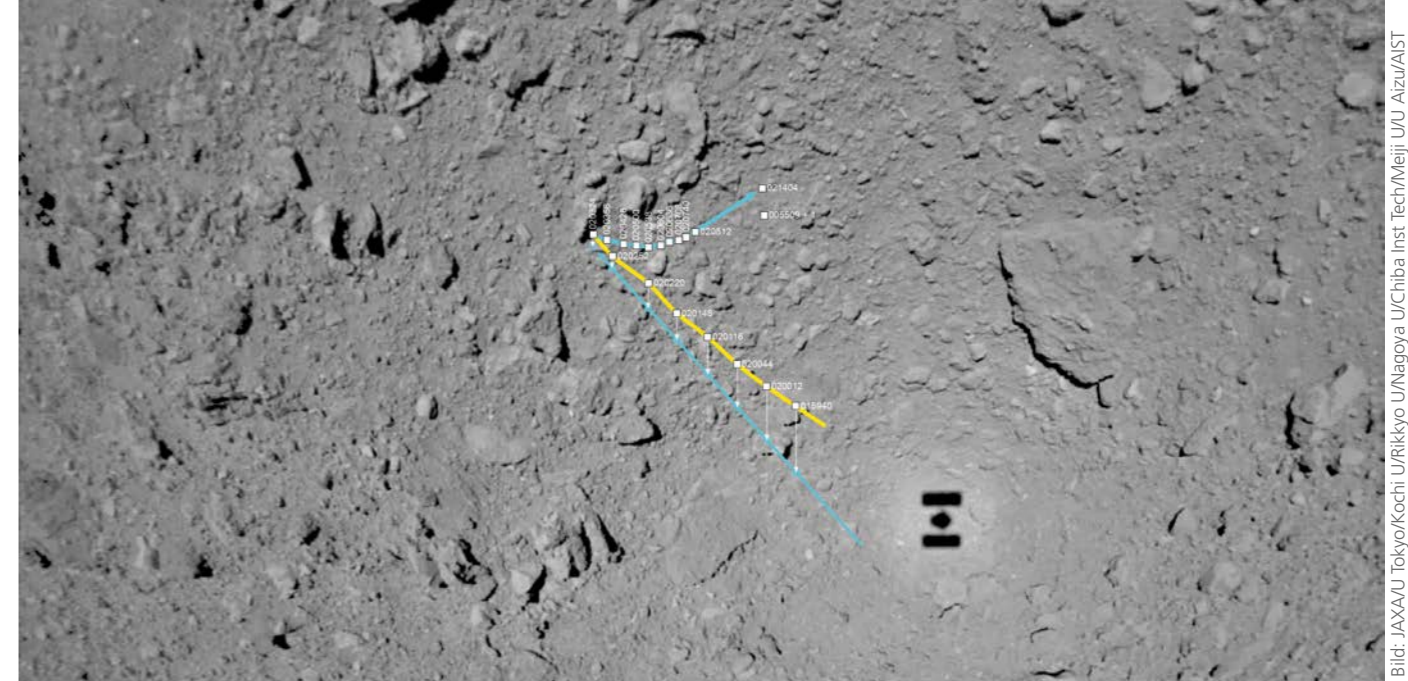
### Hayabusa2 – nichts ist unmöglich!

Rückblick und Vorausschau: Die Raumsonde Hayabusa2, gestartet am 3. Dezember 2014, erreichte Ryugu im Juni 2018. Die Mission der japanischen Weltraumagentur JAXA ist hochkomplex. Zunächst beobachtete der „Wanderfalk“ den Asteroiden aus einer Art Parkposition in 20 Kilometer Höhe. Die Sonde ist Nachfolger der Mission Hayabusa, die 2005 vom Asteroiden Itokawa Proben entnommen hatte und diese trotz technischer Schwierigkeiten 2010 zur Erde bringen konnte. Mit dem zweiten Wanderfalken soll dieses Mal auf

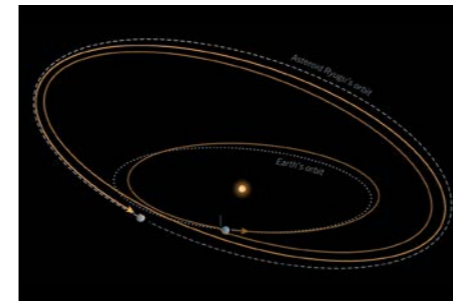
einem Asteroiden mehr Staub, auch Staub von verschiedenen Stellen gesammelt werden – und es sollte ein erdbahnkreuzender Asteroid sein. Das Szenario dafür ist höchst anspruchsvoll: Von der Annäherung der Raumsonde Hayabusa2 an Ryugu Anfang 2019 bis auf einen Meter bis zum Aufsetzen direkt auf dem Boden und der Aktivierung seines Probensammelrohrs. Darin wird eine Kugel aus Tantal nach unten geschossen werden, um Staub aufzuwirbeln. Der im Sammelrohr emporsteigende Staub wird dann fixiert und in eine Probenkammer eingeschlossen. Bei einem zweiten Bodenkontakt Wiederholung des Ganzen.

Spektakulär schließlich die dritte Probenahme: Hayabusa2 trennt einen Sprengsatz ab, der über der Oberfläche explodiert und ein konisches Kupfergeschoss mit zweieinhalb Kilogramm Masse auf zwei Kilometer pro Sekunde beschleunigt und auf Ryugu schießt. Um das Raumschiff nicht zu gefährden, geht Hayabusa2 auf der anderen Seite Ryugus in Deckung. Eine gleichzeitig ausgebrachte Minikamera nimmt den Einschlag auf, um festzuhalten, was dabei an Material zur Seite spritzt. Dann nähert sich Hayabusa2 der freien Fläche, setzt auf und nimmt darin frisches, nicht oder kaum von kosmischer Strahlung und vom Sonnenwind beeinflusstes Asteroidenmaterial auf. Damit wird Hayabusa2 dann Ende 2020 zur Erde zurückkehren. Neben MASCOT werden von der Sonde noch acht weitere, teils bewegliche Minimodule auf den Asteroiden abgesetzt. Sie markieren den künstlichen Krater beziehungsweise nehmen mit Stereokameras die Landschaft auf. Auf keiner bisherigen Explorationsmission kam derart innovative, aber auch unkonventionelle Technik zum Einsatz.

Einen Himmelskörper mit einer Raumsonde aus der Nähe zu beobachten, ist allein schon wissenschaftlich wertvoll, Proben zu nehmen und zur Erde zu bringen, die Königsdisziplin. Schließlich noch Experimente auf der Oberfläche durchzuführen, ein mächtiges Sahnehäubchen. Das vom DLR und der französischen Weltraumagentur CNES entwickelte Modul MASCOT verkörpert ein völlig neuartiges Konzept einer Landung auf einem Körper mit geringer Anziehungskraft. Die DLR-Kamera MASCAM, die schon während des Abstiegs Aufnahmen machte, fotografierte die Umgebung der Landestelle bis zum Horizont in hoher Auflösung. Am Ende waren es 120 Bilder, mehr als doppelt so viele wie geplant, Leuchtdioden ermöglichten sogar Nachtaufnahmen. Das französische Infrarot-Spektromikroskop MicrOmega ermittelte die mineralogische Zusammensetzung des Asteroidenstaubs, indem es seinen Sensor auf der Unterseite von MASCOT auf die Oberfläche setzte. Das an der Technischen Universität Braunschweig entwickelte Magnetometer MasMag sammelte Daten über ein mögliches Magnetfeld von Ryugu, das der kleine Körper in den Anfangszeiten des Sonnensystems aufgeprägt bekommen hatte. Und das DLR-Radiometer MARA schließlich erfasste die Temperatur und thermischen Eigenschaften des Asteroidenbodens.



Das Aufnahmesystem der japanischen Raumsonde Hayabusa2 verfolgte den Abstieg von MASCOT. Rechts unten ist der Schatten der Sonde zu sehen. Die Punkte im Bild geben die Zeitpunkte an, zu denen Aufnahmen von MASCOT gemacht wurden. Die gelbe Linie markiert die Positionen, an denen MASCOT noch im Abstieg auf Ryugu war. Die blaue Linie unterhalb der gelben Linie ist die Projektion dieser Positionen auf die Asteroidenoberfläche. MASCOT legte also eine geradlinige Flugroute zurück.



Die Bahn des Asteroiden Ryugu kommt dem Orbit der Erde auf 95.000 Kilometer nahe



17 spannende Stunden im Kontrollzentrum für die Mission MASCOT im DLR Köln



Die DLR-Kamera MASCAM zeigte die größte Überraschung: überall Steine, Felsen, Geröll – keinen Staub

Bild: JAXA U/Tokyo/Kochi U/Rikkyo U/Nagoya U/CNRS Inst. Tech/Meiji U/U Aizu/IST

Bild rechts: MASCOT/DLR/JAXA

### Urmaterie, die auch gefährlich werden kann

Asteroiden sind Überbleibsel der Planetenentstehung. Mehr als 750.000 solcher Körper sind bekannt. Die meisten von ihnen umrunden die Sonne in einem breiten Band zwischen den Planeten Mars und Jupiter. Vor allem aber gibt es Asteroiden, die den Weg der Erde um die Sonne kreuzen. Heute kennt man 17.000 dieser erdbahnkreuzenden Asteroiden. Die Bahnen der meisten sind hinlänglich gut bekannt und stellen keine Gefahr für die Erde dar. Eines der großen Themen der Exploration und Raumfahrt ist die Charakterisierung dieser „NEOs“ (Near-Earth Objects) und das Vermeiden von Kollisionen mit der Erde durch technische Mittel. Zwei wissenschaftliche Ziele sind es also, die mit Hayabusa2 und dem Landemodul MASCOT verfolgt werden: Zum einen soll mit Ryugu, Vertreter einer besonders „primitiven“, kohlenstoffreichen Klasse von Asteroiden, ein Körper aus der frühesten Zeit des Sonnensystems Informationen zur Planetenentstehung preisgeben. Und zweitens wollen die Wissenschaftler genau wissen, wie so ein Erdbahnkreuzer beschaffen ist.

Köln, am 3. Oktober 2018, halb sechs nachmittags: Für MASCOT begann der dritte Tag auf Ryugu. Der Lander führte jetzt auf Kommando eine kleine Bewegung aus, einen „Mini-Move“, um die Lage der Sensoren zu optimieren. Und weiter ging es mit den Messungen. Um 20.04 Uhr wurde vom Kontrollraum im DLR Köln aus der letzte Sprung von MASCOT ausgelöst. Nüchtern, wie Ingenieure zuweilen sind, kündigten sie die „End of Life“-Phase der Mission an. Und noch immer lief das Messprogramm weiter. Um neun Uhr abends sind in Köln und weitab davon in den Tiefen des Sonnensystems 16 intensive Stunden mit MASCOT verstrichen, die maximale Laufzeit der Batterien. Entgegen den Berechnungen lieferte die Batterie immer noch etwas Strom, bevor der Kontakt zu MASCOT durch den Eintritt eines Funkschattens und die bevorstehende Nacht abbrach. Statt 16 Stunden konnten die Experimente 17 Stunden und sieben Minuten lang arbeiten, mehr als eine wertvolle Stunde länger als geplant.

### Der Palast des Drachengottes

Ryugu ist in der japanischen Mythologie der Unterwasserpalast des Drachengottes. Ein braver Fischer, so sagt die Legende, wurde mit einem Besuch des Prachtbaus belohnt. Er brachte eine Schatzkiste zurück, in der ein Geheimnis verborgen war. So könnten auch die Erkenntnisse von MASCOT zusammen mit den Materialproben, die mit Hayabusa2 vom Asteroiden Ryugu in einer hermetisch versiegelten Landekapsel zur Erde gelangen sollen, zum wissenschaftlich wertvollen Schatz aus der Welt der Asteroiden werden. Die Erforschung von Ryugu aus der Nähe, die Ergänzung dieses Wissens durch das kleine, mobile Landemodul MASCOT und die Analyse der Proben werden die Beobachtungen von Asteroiden dieses Typs revolutionieren. Hayabusa2 könnte somit der Standard werden, an dem sich vor allem zukünftige Teleskopbeobachtungen orientieren können.

**Ulrich Köhler** ist Planetengeologe am DLR-Institut für Planetenforschung und war dabei, als 1991 beim Vorbeiflug der NASA-Jupitersonde Galileo am Asteroiden (951) Gaspra zum ersten Mal ein Asteroid aus der Nähe fotografiert wurde.

### MASCOT – EIN KIND DES DLR

Das DLR-Institut für Raumfahrtssysteme in Bremen entwickelte federführend zusammen mit CNES in Frankreich den Lander und testete ihn. Das DLR-Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik in Braunschweig war für die stabile Struktur des Landers zuständig. Das DLR Robotik und Mechatronik Zentrum in Oberpfaffenhofen entwickelte den Schwungarm, der MASCOT auf dem Asteroiden hüpfen ließ. Das DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin steuerte die Kamera MASCAM und das Radiometer MARA bei. Überwacht und betrieben wurde der Asteroidenlander aus dem MASCOT-Kontrollzentrum im Nutzerzentrum für Weltraumexperimente (MUSC) am DLR Köln.