

Kosmisches Planeten-Billard

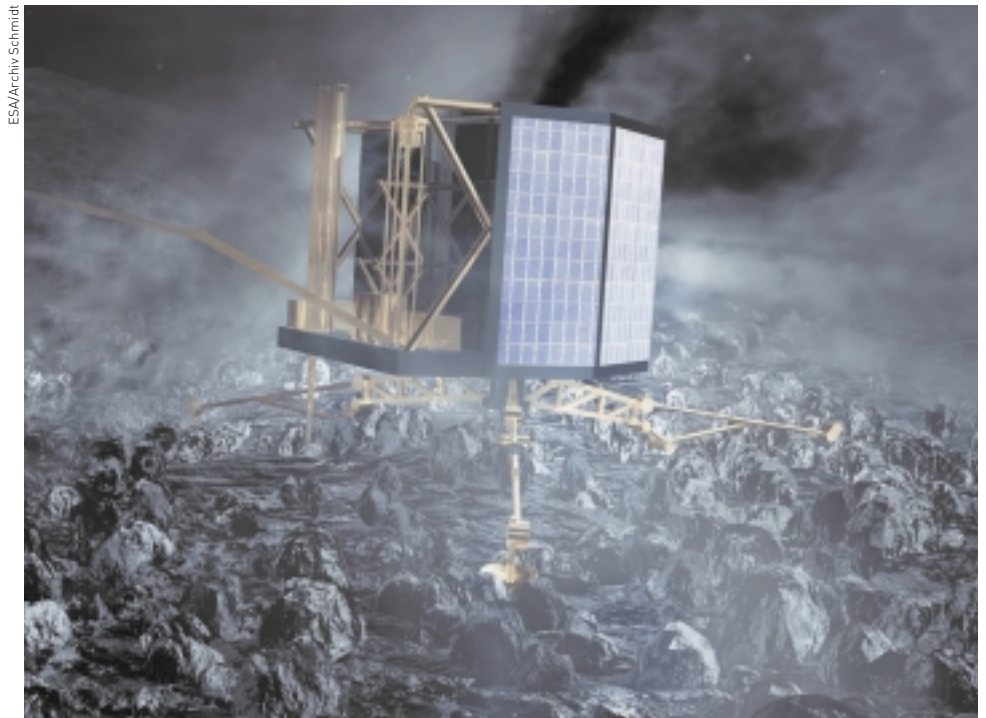
Von Men J. Schmidt*

Reisestrecke: mehr als fünf Milliarden Kilometer, Reisezeit: zehneinhalb Jahre durch unser Sonnensystem, Reiseziel: der Komet 67P/Churyumov-Gerasimenko mit einem Durchmesser von etwa vier Kilometern – dies sind die Eckdaten der «Rosetta»-Mission der europäischen Weltraumorganisation ESA, die am 2. März 2004 um 08.36 Uhr MEZ vom europäischen Weltraumbahnhof Kourou in Französisch-Guayana aus erfolgreich gestartet wurde.

Die «Rosetta»-Mission soll die Entstehungsgeschichte unseres Sonnensystems erforschen, indem sie einen der ältesten und ursprünglichsten Himmelskörper, einen Kometen, wissenschaftlich untersucht. Die Mission besteht aus einem Orbiter und der Landeeinheit mit dem Namen «Philae», die im November 2014 erstmals auf einem Kometen landen soll (Bild 1).

Der Orbiter wurde vom Hauptauftragnehmer EADS Astrium in Friedrichshafen gebaut. Der Test von «Rosetta»-Orbiter und -Lander auf Weltraumtauglichkeit erfolgte bei der IABG in München.

Ursprünglich hatte die ESA die «Rosetta»-Mission als reine Orbiter-Mission geplant. Der Lander, der erst später zu der Mission hinzukam, ist wohl der wichtigste und wissenschaftlich aufregendste, aber auch risikoreichste deutsche Beitrag zu dieser Mission. Der Lander geht zurück auf eine Initiative von zwei deutschen Wissenschaftlern, von Dr. Helmut Rosenbauer vom Max-Planck-Institut in Katlenburg-Lindau und von Prof. Dr. Berndt Feuerbacher vom DLR-Institut für Raumsimulation in Köln-Porz. Beim DLR in Köln-Porz ist auch das Lander-Kontrollzentrum und -Team beheimatet, das die schwierige und bisher noch nie gewagte Landung auf dem Kometen vorbereitet und betreuen wird. Für den Lander übernahm das DLR die Projektleitung und Koordination der beteiligten wissenschaftlichen Einrichtungen. Das Institut hat wesentliche Teile bei der Fertigung und zur Qualifikation des Landers beigetragen. So hat das DLR in



Nach der Landung der «Philae»-Kapsel auf dem Kometen Churyumov-Gerasimenko soll neben der Gewinnung von Panorambildern auch das Kometenmaterial mithilfe eines Bohrers untersucht und analysiert werden. (Bild 1)

Braunschweig die Struktur der Landeeinheit gebaut, und das DLR in Köln hat die Systeme und Instrumente integriert und getestet.

Neuer Komet gesucht

Da wegen der Startverschiebung im Januar 2003 der ursprünglich anvisierte Komet Wirtanen, der eine periodische Umlaufzeit von fünfeinhalb Jahren hat, nicht mehr erreichbar war, musste damals ein neuer Komet ausgesucht werden. Als neues Zielobjekt wurde von einer ESA-Wissenschaftskommission der Komet Churyumov-Gerasimenko ausgesucht, der zwar ähnliche Eigenschaften wie der Wirtanen aufweist, aber im Durchmesser etwa drei- bis viermal so gross ist, etwa die dreissigfache Masse hat und damit eine etwa dreimal so hohe Landegeschwindigkeit bewirkt.

Der wissenschaftliche Name des Kometen ist 67P/Churyumov-Gerasimenko (Bild 2).

Er hat eine periodische Umlaufzeit von 6,7 Jahren. Im Aphel ist er etwa 5,6 Astronomische Einheiten (AE ~ 150 Millionen Kilometer) von der Sonne entfernt, im Perihel etwa 1,3 AE. Er ist etwa vier Kilometer gross und dreht sich in 12,6 Stunden einmal um seine eigene Achse. Seine Albedo, also sein Reflektionsvermögen, beträgt 0,04, das heisst, er ist schwarz wie Kohle.

«Rosetta» spielt planetares Billard

Da die «Rosetta»-Mission bis in den äusseren Bereich des Sonnensystems vordringen muss und keine verfügbare Antriebsquelle über einen solchen Schub verfügt, sodass der Zielkomet direkt angefliegen werden kann, gleicht die komplizierte geometrische Flugbahn der «Rosetta»-Mission einem kosmischem Planeten-Billard. Nach dem Start wird die Mission mehrere so genannte Swing-by-Manöver ausführen, nahe Vorbeiflüge an grossen Him-

melskörpern, die der Sonde zusätzlichen Schwung verleihen, damit sie in die äusseren Bereiche des Sonnensystems vordringen kann. Im März 2005 erfolgt zum ersten Mal ein Swing-by durch die Erde, im Februar und im November 2007 durch den Mars und im November 2009 wiederum durch die Erde. Im Juli 2014 erfolgt die Annäherung an den Kometen, im August 2014 das Einschwenken in die Umlaufbahn. Ausserdem fliegt «Rosetta» während dieser langen Reise in den Jahren 2008 und 2010 an zwei Asteroiden vorbei. Die Möglichkeit, einen oder mehrere Asteroiden aus der Nähe zu untersuchen, gehört seit Beginn zu den wissenschaftlichen Zielen von «Rosetta». Die Missionsleiter der ESA konnten jedoch erst nach dem Start der Sonde und ihrer Einbringung in die interplanetare Umlaufbahn abschätzen, wie viel Treibstoff tatsächlich für solche Vorbeiflüge zur Verfügung steht. Anhand der vom Europäischen Raumflugkontrollzentrum (ESOC) in Darmstadt übermittelten Angaben konnte das wissenschaftliche Arbeitsteam für «Rosetta» ein Asteroidenpaar auswählen, das zum einen wissenschaftlich hochinteressant ist und zum anderen mit dem verfügbaren Treibstoffvorrat problemlos angefliegen werden kann.

Möglich wurde die Auswahl dieser beiden Asteroiden durch die hohe Präzision, mit der die Ariane-5 die Sonde auf ihre Umlaufbahn befördert hat. Diese Präzision garantiert auch, dass für das Hauptziel der Mission, das Umkreisen des Kometen Churyumov-Gerasimenko über einen Zeitraum von 17 Monaten nach dem Rendezvous im Jahr 2014, genügend Treibstoff zur Verfügung steht.

Primitive Bausteine

Asteroiden sind primitive Bausteine des Sonnensystems aus der Zeit seiner Entstehung vor rund 4,6 Milliarden Jahren. Bisher konnten nur wenige von ihnen aus der Nähe beobachtet werden. Sie unterscheiden sich sowohl in ihrer Form und Grösse – manche haben nur einige wenige, andere über 100 km Durchmesser – als auch in ihrer Zusammensetzung. Die für «Rosetta» ausgewählten Zielasteroi-

den, «Steins» und «Lutetia», haben recht unterschiedliche Eigenschaften. «Steins», mit seinem Durchmesser von nur wenigen Kilometern ein vergleichsweise kleines Objekt, soll von «Rosetta» am 8. September 2008 aus etwa 1700 km Entfernung begutachtet werden (Bild 3). Diese «Begegnung» wird bei der relativ geringen Geschwindigkeit von etwa 9 km/s während «Rosettas» ersten Ausflugs in den Asteroidengürtel stattfinden. Der zweite Asteroid, «Lutetia», ist weit grösser: Er hat einen Durchmesser von rund 100 km. Ihn wird «Rosetta» am 10. Juli 2010 während ihres zweiten Flugs durch den Asteroidengürtel mit einer Vorbeifluggeschwindigkeit von 15 km/s aus rund 3000 km Entfernung beobachten.

Die Sonde dürfte bei ihren Vorbeiflügen an diesen Urzeit-Felsen spektakuläre Bilder aufnehmen. Ihre Bordinstrumente werden Aufschluss über Masse und Dichte der beiden Asteroiden geben und uns somit mehr über ihre jeweilige Zusammensetzung verraten. «Rosetta» soll ausserdem die Temperatur unter ihren Oberflächen messen und nach Gas und Staub in ihren Umgebungen Ausschau halten.

«Kometen und Asteroiden sind die Bausteine unserer Erde und der anderen Planeten des Sonnensystems. «Rosetta» wird die bisher gründlichste Untersuchung von dreien dieser Objekte anstellen», sagte Prof. Dr. David Southwood, der Wissenschaftsdirektor der ESA. «Die Sonde wird während ihrer zwölfjährigen Reise eine ganze Reihe von Herausforderungen bewältigen müssen, aber die wissenschaftlichen Einblicke in die Ursprünge des Sonnensystems und möglicherweise des Lebens, die sie uns ermöglichen wird, machen die Sache mehr als lohnend.»

«Rosetta»-Orbiter – erstmalige Erkundung eines Kometen aus der Umlaufbahn

Mit der anschliessenden Vermessung und Kartierung des Kometen durch den Orbiter beginnt dann die eigentliche wissenschaftliche Mission. Im November 2014 erfolgt die Landung auf dem Kometen. Lander und Orbiter fliegen dann gemeinsam mit dem Kometen

Richtung Sonne, um die mit der Erwärmung zunehmende Ausgasung und Staubeentwicklung, die Bildung des Kometenschweifs, genauer zu untersuchen. Im August 2015 wird dann der sonnennächste Punkt der Kometenbahn erreicht. Die Mission soll Ende 2015 beendet sein. Der Lander ist so konstruiert, dass er etwa sechs Monate lang die harten Umweltbedingungen auf der Kometenoberfläche aushalten kann. Mit etwas Glück bleibt er länger funktionsfähig, was für die Wissenschaftler ein enormer Gewinn wäre.

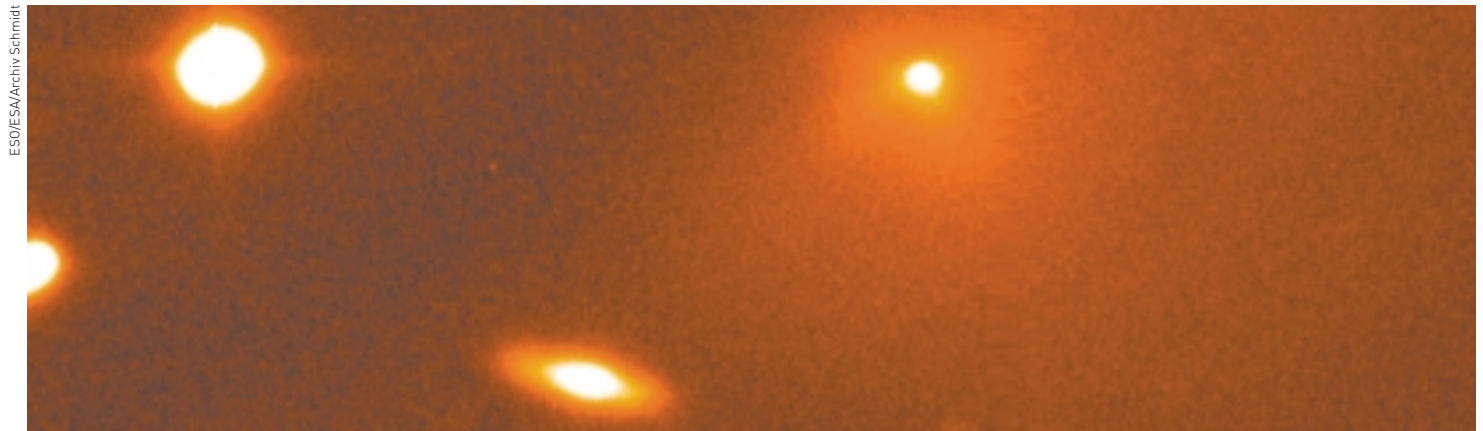
Wenn die «Rosetta»-Mission den Kometen erreicht, ist dieser etwa drei Astronomische Einheiten von der Sonne entfernt (rund 450 Mio. km), ganz in der Nähe der Jupiter-Umlaufbahn. Nach der Ankunft beim Kometen und der Abtrennung der Landeeinheit wird die «Rosetta»-Sonde, die sich bisher zehneinhalb Jahre zum Kometen hin bewegt hat, zum Orbiter, der den Kometen in einem Abstand von ein bis zehn Kilometern auf einer elliptischen Umlaufbahn umkreist.

Zur Erforschung des Ursprungs unseres Sonnensystems verfügt der Orbiter über zwölf wissenschaftliche Instrumente: Kameras und Spektrometer arbeiten in einem breiten Spektrum (Ultraviolett, Visuell, Infrarot, Mikrowellen). Es sind dies im Folgenden:

ROSINA (Rosetta Orbiter Spectrometer for Ion and Neutral Analysis)

Zwei Massenspektrometer untersuchen die Kometenatmosphäre auf Ionen und Neutralgasteilchen, um so deren molekulare Zusammensetzung zu ermitteln. Dieses Instrument wurde vom Physikalischen Institut der Universität Bern entwickelt. Das Zürcher Raumfahrtunternehmen Contraves Space hat das Double Focussing Mass Spectrometer gebaut. Hauptexperimentator ist Prof. Dr. Hans Balsiger, der bereits bei der Kometen-Mission «Giotto» ein Massenspektrometer-Experiment geleitet hat. Das ROSINA-Experiment gehört zu den Schlüsselexperimenten der Mission, weil damit die Zusammensetzung des Kometen und die Elementverteilung mit hoher Genauigkeit ermittelt werden kann. Die

Aufnahme des Zielkometen Churyumov-Gerasimenko durch die Europäische Südsternwarte ESO in La Silla, Chile. Der Kometenkern weist einen Durchmesser von rund 4 km auf und soll Gegenstand von Untersuchungen im Jahr 2014 durch die europäische Raumsonde «Rosetta» sein. (Bild 2)



Wissenschaftler der Universität Bern verfügen über grosse Erfahrung bei der Entwicklung und dem Bau von Massenspektrometern für Weltraumanwendungen. Am Beispiel des ROSINA-Experiments soll die komplexe Beteiligung der Schweizer Industrieunternehmen und Institute aufgezeigt werden:

Institute-Beteiligung

- Physikalisches Institut der Universität Bern
Hauptverantwortlich für das komplette Instrument, Design, Entwicklung, Koordination, Management, Test und Eichung
- Fachhochschule Bern, Institut für Technologietransfer (Intec), COPS-Microtips
- Ecole d'ingénieurs et architectes de Fribourg, RTOF-Hochspannungstests
- ETHZ, Fachgruppe Hochspannungstechnik, DFMS-Hochspannungstests
- HSR Hochschule für Technik Rapperswil, DFMS-Präzisionsmessungen
- Hochschule für Technik und Architektur Biel, DFMS-Design-Präzisionsteile

Industrie-Beteiligung

- Contraves Space AG, Struktur, Ionenoptik, Thermaldesign für DFMS, Deckelmechanismus für RTOF und DFMS
- EMPA, Gruppe für angewandte Verfahren und Entwicklung, Zoom-Optik für DFMS, Ionenquelle, Ionenspiegel, Reflektron für RTOF
- Apco Technologies SA, Struktur, Ionenoptik, Thermaldesign für RTOF

- Montena Emc SA, Elektronik von COPS, Herstellung der Data Processing Unit
- Styner+Bienz, FormTech Ltd., Schutzgas-technik, Herstellung DFMS-Präzisionsteile
- Collini-Flühmann, Laserschweissen, Oberflächenbehandlungen

ALICE, Ultraviolett-Spektrometer für Gasanalysen

Das Instrument sucht nach Edelgasen wie Helium, Neon, Argon, Krypton und Xenon in Koma und Schweif. Aus ihren relativen Häufigkeiten können Rückschlüsse auf die Umgebungstemperatur zum Zeitpunkt und zum Ort der Entstehung des Kometen geschlossen werden.

OSIRIS, Optical Spectroscopic and Infrared Remote Imaging System

Das Gerät besteht aus zwei hoch auflösenden Kamerasystemen für Tele- und Weitwinkelaufnahmen des Kometenkerns und der Asteroiden. Die Kamerasysteme arbeiten im optischen und nahen Infrarotbereich.

(Max-Planck-Institut für Aeronomie in Katlenburg-Lindau)

VIRTIS, Visible and Infrared Thermal Imaging Spectrometer

Das Instrument verfügt über zwei Bildsysteme mittlerer Auflösung im sichtbaren und ein hoch auflösendes Spektrometer im infraroten Spektralbereich. Damit lässt sich die

chemische Zusammensetzung des Kometenkerns und die räumliche Verteilung der gefundenen Elemente und Minerale bestimmen. (Italien/DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof)

MIRO, Microwave Instrument for the Rosetta Orbiter

Das Instrument dient der Ermittlung der Verdampfungsraten der wichtigsten leicht flüchtigen Elemente und der Bestimmung der Temperatur im Kometenkern; es soll nach Gasen in der Umgebung der besuchten Asteroiden suchen. (USA/Max-Planck-Institut für Aeronomie in Katlenburg-Lindau)

COSIMA, Cometary Secondary

Das Massenspektrometer dient vor allem der Untersuchung des Kometenstaubs. Auch hier werden die Häufigkeiten von Elementen, Isotopen und Molekülen bestimmt. (Max-Planck-Institut für Extraterrestrische Physik in Garching)

MIDAS, Micro Imaging Dust Analysis System
Hoch auflösendes Rasterkraftmikroskop zur direkten Abbildung der Feinstruktur einzelner Staubteilchen. (Österreich/Universität Kassel)

GIADA, Grain Impact Analyzer and Dust Accumulator

Das Instrument dient der Messung von Anzahl, Masse, Impuls und Geschwindigkeit der

Verteilung von Staubteilchen, die sowohl vom Kern als auch von anderen Richtungen stammen. (Italien)

RPC, Rosetta Plasma Consortium

Fünf verschiedene Sensoren untersuchen die physikalischen Eigenschaften des Kometenkerns und die Wechselwirkungen des Sonnenwindes mit der Kometenatmosphäre. (TU Braunschweig)

CONSERT, Comet Nucleus Sounding Experiment by Radiowave Transmission

Der Kometenkern wird mit Radiowellen «beschossen», wobei deren Reflexionsgrad und deren Streuung gemessen wird.

RSI, Radio Science Investigation

Die zur und von der Erde übertragenen Radiowellen mit den Telemetrie- und Messdaten werden zur Ermittlung der Masse, Dichte und des Gravitationsfeldes des Kometenkerns genutzt. Aus der Laufzeit der Signale lässt sich auch der Kometenorbit genau bestimmen. (Universität Köln)

Lander «Philae»: Vor-Ort-Erkundung des Kometen

Die Landeeinheit ist ein Hightech-Würfel mit einer Kantenlänge von etwa einem Meter. Seine Hauptaufgabe ist die Vor-Ort-Analyse des Kometenmaterials, des wohl ursprünglichsten und ältesten Materials, das es in unserem Sonnensystem gibt. Insbesondere sollen Element- und Isotopenverteilung, organische Moleküle sowie Minerale und Eisen untersucht werden. Bei der Analyse der Struktur und Eigenschaften des Kometenkerns geht es vor allem um die Oberflächentopologie (wie sieht die Oberfläche eines Kometenkerns aus der Nähe aus), die physikalischen Eigenschaften des Kometenkerns sowie die Schichtungsstruktur und die globale interne Struktur. Zudem sollen die Auswirkungen zeitlicher Variationen beobachtet und untersucht werden, die durch den Tag- und Nachtzyklus und die Schweißbildung bei der Annäherung an die Sonne entstehen.

Der Lander untersucht mit drei Instrumenten die Kometenmaterie:

- Das APX-Spektrometer (Alpha-Particle-X-Ray Spectrometer, MPCh) führt eine Elementanalyse durch.
- COSAC (MPAe) und PTOLEMY (UK) sind Analysatoren, welche die Materie, die der Bohrer aus einigen 10 cm Tiefe gefördert hat, zunächst erhitzen und dadurch in gasförmigen Zustand bringen. Die Produkte werden durch Röhrchen zu den Massenspektrometern (basierend auf Flugzeitmessungen bei COSAC und auf einer Ionenfalle für PTOLEMY) oder zu verschiedenen Gaschromatografen transportiert. PTOLEMY nutzt ausserdem chemische Reaktoren zur Isobarentrennung.
- Sample & Drill Device (SD2) bezeichnet die von der italienischen Weltraumagentur ASI beigestellten Bohrer. Diese können Proben aus bis zu 23 cm Tiefe herausnehmen und sie – für die Analyse durch COSAC, PTOLEMY und zum CIVA-Instrumentenkomplex gehörenden Mikroskopen – in einen kleinen Ofen legen.

Der Lander hat zwei Kamerasysteme an Bord: die französische Kamera CIVA für Panorama-, Stereo- und Mikroskopaufnahmen (mit insgesamt acht Kameraköpfen). Die Kameras stammen wiederum von der Westschweizer Firma Space X, die dazugehörigen Objektive hat Fisba Optik gefertigt. Ausserdem die vom DLR in Berlin-Adlershof entwickelte Kamera ROLIS, die nach unten auf die Kometenoberfläche gerichtet ist und

während des Abstiegs auf die Kometenoberfläche Aufnahmen gewinnen soll.

Für die Strukturanalyse gibt es insgesamt vier Instrumente:

- SESAME (Surface Electric Sounding and Acoustic Monitoring Experiment, DLR-Institut für Raumsimulation, Köln): Das seismische Instrument enthält akustische und seismische Transmitter und Sensoren in den Füßen des Landebeins, es misst Staub und elektrische Permittivität.
- CONSERT: Der französische Mikrowellen-Tomograf nutzt den «Rosetta»-Orbiter als Sender und den Lander als Empfänger (Transponder) und «durchleuchtet» den gesamten Kometenkern wie bei einer Schnittbild-Tomografie.
- MUPUS: Der mechanische Penetrator der Universität Münster hämmert einen Messstab von etwa 30 cm Länge in den Kometenkern ein und misst dort physikalische Parameter, beispielsweise Dichte, Härte, Temperaturen und Wärmefluss.
- ROMAP (Universität Braunschweig): Dieses Instrument untersucht das Magnetfeld und die Eigenschaften des Plasmas.

Der Aufbau des Landers «Philae»

Der Lander ist auf nahezu allen Seiten mit Solarzellen verkleidet, die im Mittel etwa 8 W an elektrischer Energie für die wissenschaftlichen Experimente erzeugen können. Da die verfügbare Sonnenenergie in diesem sonnenfernen Bereich nur etwa einen Zehntel des erdnahen Bereichs beträgt, ist die erzeugbare Energie auf

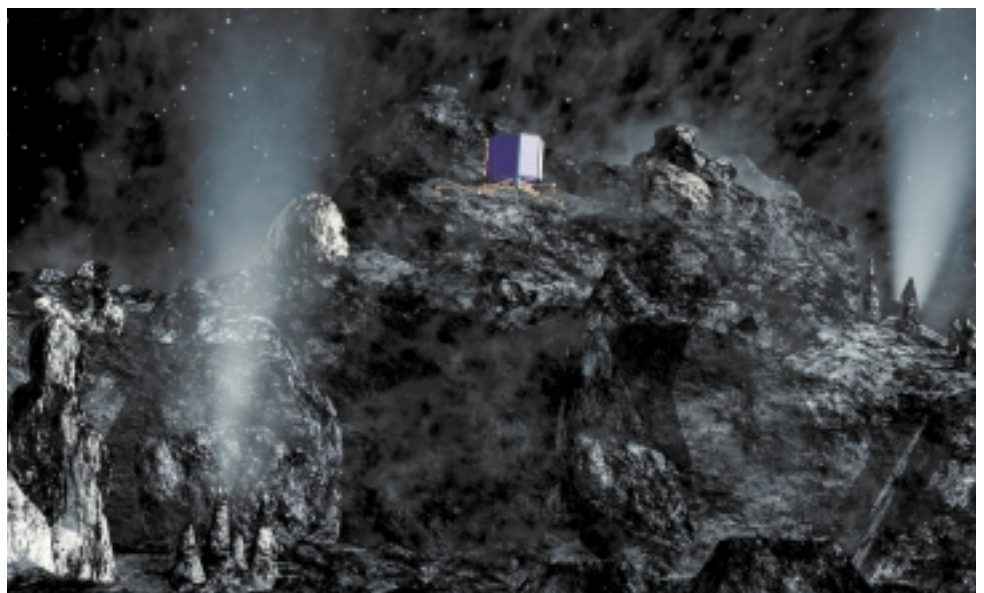
Kosten der europäischen «Rosetta»-Mission

Die ESA-Gesamtkosten für die «Rosetta»-Mission betragen rund 770 Millionen Euro. Dazu kommen die Kosten für den Lander und für nationale Beiträge zu den jeweiligen wissenschaftlichen Experimenten, sodass mit einem Gesamtvolumen von rund einer Milliarde Euro zu rechnen ist. Als wissenschaftlich und industriell wichtigste Nation der «Rosetta»-Mission trägt Deutschland einen Beitrag von 290 Millionen Euro. Das Kontrollzentrum der ESA in Darmstadt, das European Space Operations Center (ESOC) ist für die Satellitenkontrolle zuständig. Hier werden alle Bahnmanöver der Raumsonde berechnet, durchgeführt und überwacht sowie die wissenschaftlichen Daten empfangen.

(l.) Auf ihrem langen Weg zum Kometen Churyumov-Gerasimenko wird «Rosetta» auch die zwei Asteroiden «Steins» und «Lutetia» besuchen und Daten zur Erde übertragen. (Bild 3)

(r.) Künstlerische Darstellung des Kometen-Landegeräts «Philae». Im Jahr 2014 soll erstmals eine Landekapsel auf der Oberfläche eines Kometen landen. (Bild 4)

ESA/Archiv Schmidt



einem Kometen ein knappes und wertvolles Gut. Der Lander hat zusätzlich Primär- und Sekundärbatterien zum Zwischenspeichern der Energie, und er verfügt über «warme» und «kalte» Bereiche, also Bereiche, die geheizt werden, um ein besseres Funktionieren der Experimente zu ermöglichen, und Bereiche, die nur durch Dämmmaterial vor der stets kalten Umgebung (-50 °C bis -170 °C) geschützt sind. Die Übertragung der wissenschaftlichen Ergebnisse erfolgt mit 16 kbit/s via Orbiter zur Erde. Alle Vorgänge auf dem Lander werden durch gemeinsame, redundant ausgelegte Bordcomputer geregelt.

Erstmalige Landung auf einem Kometen

Die Landung wird im Prinzip durch das Abstossen des Landers vom Orbiter gegen die Umlaufgeschwindigkeit eingeleitet. Der Abstieg zum Kometen aus rund einem Kilometer Höhe wird durch dessen Anziehung beschleunigt. Die Lage des Landers wird dabei durch einen Kreisel stabilisiert, um sicherzustellen, dass die drei beweglichen Beine des Landers in die Richtung des Kometen weisen. Beim ersten Kontakt eines der drei Lander-Beine mit dem Kometen wird eine Kaltgasdüse an der Lander-

Oberseite gezündet und die Landeeinheit auf den Kometen gedrückt, wodurch die elastische Energie aus dem Landegestell, die zum Zurückprallen führen könnte, vernichtet wird. Zusätzlich werden zwei Harpunen in den Kometen geschossen, der Lander wird an diesen festgezurr und verankert (Bild 4).

Das spezielle Problem bei dieser Landung auf einem Kometen ist – anders als bei einer Landung auf dem Mars, einem Planeten mit grosser Anziehungskraft – nicht die weiche Landung, sondern das Verbleiben und Festhalten auf der Oberfläche. Denn die Fluchtgeschwindigkeit beträgt 1 m/s. Ein Komet ist ein relativ kleiner Körper mit wenig Schwerkraft. Daher ist das Problem nicht die weiche Landung, wie wir das vom Mars oder Mond her kennen. Der auf der Erde 100 kg schwere Lander wiegt auf dem Kometen nur wenige Gramm. Das Problem ist eher, dass der Lander nicht abprallt und bei der geringen Fluchtgeschwindigkeit auf Nimmer-Wiedersehen im Universum verschwindet.

Der «Philae»-Lander ist ein Novum in der Fertigung von Raumfahrzeugen, denn mit ihm wurde erstmals ein weltraumtaugliches Gerät nicht von der Industrie, sondern komplett von wissenschaftlichen Einrichtungen gefertigt. An

dem Lander-System wirkten folgende Institutionen mit: DLR (Köln, Braunschweig), MPG (Lindau, Garching), CNES (Paris), ASI (Rom), KFKI (Budapest), STIL (Dublin), FMI (Helsinki), BNSC (London), IWF (Graz). Die Lander-Instrumente werden von folgenden Einrichtungen betreut: MPG (Lindau, Mainz, Garching), DLR (Köln, Berlin), Universität Münster, Universität Braunschweig, IAS (Orsay, Frankreich), CEPHAG (Grenoble, Frankreich), Open University (Milton Keynes, Grossbritannien), KFKI (Budapest), Politecnico di Milano (Italien).

Genauere Kenntnisse über den Kometen haben die Wissenschaftler nicht. Dazu gehören auch die Temperaturen: Sie schwanken auf dem Kometen zwischen -50 °C am Tag und -170 °C in der Nacht. Die Sonneneinstrahlung und die damit erzeugbare Solarenergie beträgt rund ein Zehntel der erdnahen Sonneneinstrahlung. Die Schwerkraft beträgt im Vergleich zur Erde etwa einen Zehntausendstel. ■

**Men J. Schmidt, freier Wissenschaftspublizist für Astronomie und Raumfahrt, Projektleiter für optische Systeme, Fisba Optik, St. Gallen, E-Mail: men.schmidt@fisba.ch, Homepage: www.space-science.ch*