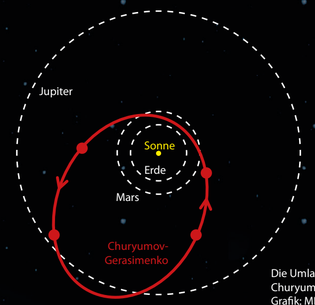
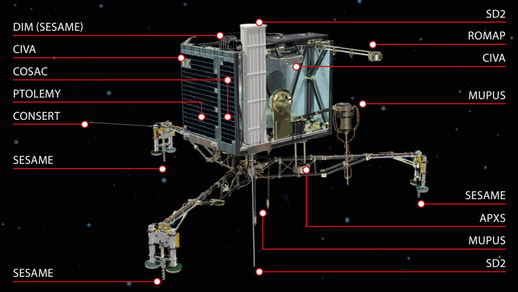
Expedition zur Urmaterie eines Kometen

Etwa alle sechseinhalb Jahre verlässt der Komet 67P/Churyumov-Gerasimenko die eisigen Tiefen des Weltalls jenseits der Umlaufbahn des Jupiters und dringt ins innere Sonnensystem vor. Auf seiner Reise tritt dann eine Verwandlung ein: Unter dem Einfluss der Sonne erwärmt sich der „leblose" Brocken aus Stein und Eis; gefrorene Gase und Eis verdampfen aus seinem Inneren und reißen Fontänen aus Staub mit sich.
Zeuge dieser Verwandlung soll die Raumsonde Rosetta der Europäischen Weltraumagentur ESA werden. Nach etwa zehnjähriger Reise durchs All erreicht sie den Kometen im August 2014 und begleitet ihn auf seinem Weg um die Sonne bis mindestens Ende 2015. Im November 2014 steht das größte Abenteuer der Mission an: Die Landeeinheit Philae löst sich von der Raumsonde und setzt auf der Oberfläche des Kometen auf. Ein Novum. Noch nie zuvor war es möglich, die Vorgänge an der Kometenoberfläche, ihre Zusammensetzung und Entwicklung aus unmittelbarer Nähe zu untersuchen.



Die Umlaufbahn von 67P/Churyumov-Gerasimenko.
Grafik: MPS



Grafik: ESA/ATG medialab

Kometen – Zeugen der Geburtsstunde des Sonnensystems

Da Kometen den Großteil der vergangenen 4,6 Milliarden Jahre am Rand des Sonnensystems verbracht haben, ist in ihnen die Urmaterie aus der Geburtsstunde des Planetensystems konserviert. Auch 67P/Churyumov-Gerasimenko ist ein Neuling im inneren Sonnensystem. Wahrscheinlich erst vor wenigen Jahrzehnten lenkte der Gasriese Jupiter den Schweifstern auf seine heutige Bahn, die ihn vergleichsweise nah an die Sonne heranführt. Das ursprüngliche Kometenmaterial in seinem Innern war somit erst wenige Male der Wärme und Strahlung der Sonne ausgesetzt und ist noch fast unverändert. Genaue Untersuchungen dieses Materials erlauben einen Blick zurück zu den Anfängen des Sonnensystems. Welche Stoffe lagen damals in welchem Verhältnis vor? Gibt es in der Kometenmaterie komplexe organische Verbindungen? Wie ballten sich aus dem interstellaren Staub kleine Körper und schließlich Planeten zusammen? Antworten auf diese Fragen erhoffen sich die Forscher im Boden des Kometen.

Grafik: ESA / ATG medialab

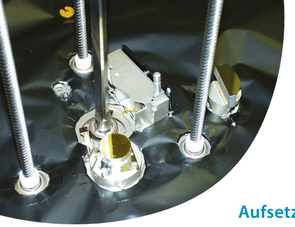
Philae – Mini-Labor auf der Kometenoberfläche

Für ihren Einsatz auf der Oberfläche des Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko ist die Landeeinheit Philae bestens gerüstet. Ein dreibeiniges Landegestell sorgt für eine sanfte Landung und für einen sicheren Stand. Je nach Anforderung des Landeplatzes kann der „Körper" der Landeeinheit gedreht und geschwenkt werden.
Dieser Körper hat eine Kantenlänge von etwa einem Meter und wiegt knapp 100 Kilogramm. Materialien wie Kohlefaser und wabenförmig verstärkte Aluminiumbleche sorgen für hohe Stabilität trotz des geringen Gewichtes. Die technischen Subsysteme und die meisten der zehn wissenschaftlichen Instrumente befinden sich oberhalb einer sechseckigen Plattform, die gleichzeitig die Unterseite des Körpers bildet. Seitenwände, die von außen mit Solarzellen verkleidet sind, schützen das Innere vor dem Auskühlen und vor dem Gas und Staub, die der Komet ins All emittiert.
Die Landemission beginnt bereits Monate vor der eigentlichen Landung: Von Juli bis Mitte Oktober 2014 erkundet der Rosetta-Orbiter den Kometen und bereitet so die Landung vor. Im November 2014 trennen 67P/Churyumov-Gerasimenko dann noch etwa 450 Millionen Kilometer von der Sonne. Der Schweifstern ist zu diesem Zeitpunkt bereits aktiv: Er setzt Gas und Staub frei. Das Aktivitätsmaximum, das im August 2015 bei seinem geringsten Abstand von der Sonne erwartet wird, liegt jedoch noch in weiter Ferne. Wie lange Philae auf der Kometenoberfläche in Betrieb bleibt, ist ungewiss. Auf dem Weg in Richtung Sonne werden wahrscheinlich irgendwann einzelne Instrumente und technische Subsysteme überhitzen und ausfallen.

Die Messinstrumente der Landeeinheit Philae

Die Landeeinheit Philae trägt zehn wissenschaftliche Instrumente an Bord, die dem Kometenkern seine Geheimnisse auf unterschiedlichste Art und Weise entlocken: Sie nehmen unter anderem Bodenproben, vermessen das Magnetfeld des Körpers, durchleuchten mit Radiowellen sein Inneres und bestimmen mit Sonden Temperatur, Dichte, Festigkeit und dielektrische Eigenschaften der Oberflächenschicht.
Da das ursprünglichste Material des Kometen unter seiner Oberfläche zu erwarten ist, ist Philae unter anderem mit einem Bohrer ausgestattet. Dieser fördert Bodenproben aus einer Tiefe von bis zu einigen zehn Zentimetern zu Tage und stellt sie anderen Instrumenten zur Verfügung. Eines davon ist COSAC, ein Gasanalysator. Nach dem Erwärmen der Proben in kleinen Öfen durchlaufen ihre flüchtigen Bestandteile lange Röhren im Innern des Instrumentes. Dort werden die verschiedenen Komponenten von einander getrennt und im anschließenden Massenspektrometer identifiziert. Auf diese Weise geht COSAC der Frage nach, welche organischen Moleküle sich im Kometenmaterial finden – und ob Kometen möglicherweise die Bausteine des Lebens zur Erde brachten.
Das Instrument CONSERT vermag deutlich tiefer ins Innere des Kometenkerns zu blicken. Radiowellen, die eine Antenne auf dem Orbiter sendet, durchlaufen den Kern, erreichen die Schwesterantenne auf der Landeeinheit und werden von dort zurück zum Orbiter reflektiert. Da der Weg durch den Kometen das Signal verändert, sind Rückschlüsse auf seinen inneren Aufbau möglich.
Der Einschlagdetektor DIM an der Oberseite der Landeeinheit bestimmt Größe, Geschwindigkeit und Flugrichtung der Staubteilchen, die der Komet freisetzt.
Von Interesse sind dabei auch die Teilchen, die nicht schnell genug sind, um das Schwerefeld des Kometen zu verlassen. Diese sind für die Instrumente des Orbiters unzugänglich. Nur DIM kann sich auf diese Weise ein vollständiges Bild von der Staubaktivität des Kerns machen und nachvollziehen, wie der Staub seine Oberfläche im Laufe der Zeit verändert.

Name	Instrument	Beschreibung	Zielsetzung	Verantwortliches Institut, Land
APXS	Alpha-Protonen-Röntgen-Spektrometer	Elementzusammensetzung der Kernoberfläche	Zustand, Ursprung und Entwicklung des Kometenkerns	Universität Mainz, Deutschland
COSAC	Gasanalysator	Gaschromatograf und Flugzeit-Massenspektrometer	Element- und Molekülzusammensetzung der Kernoberfläche	MPS, Deutschland
PTOLEMY	Gasanalysator	Gaschromatograf und Ionenfallen-Massenspektrometer	Isotopen-Zusammensetzung der Kernoberfläche	Open University, Großbritannien
CIVA	Optische und NIR-Kameras und Mikroskop-Kameras	Stereoskopische Panoramakamera mit 360 Grad Gesichtsfeld, mikroskopische Kamera und Infrarot-Spektrometer	Beobachtung der Kernoberfläche während der Landung, Mikrostruktur und Zusammensetzung des Kernmaterials, u. a. der Bodenproben für COSAC und PTOLEMY	IAS, Frankreich
ROLIS	Optische Kamera	Beobachtung des Landeplatzes während des Anflugs, mikroskopische Strukturen auf der Kernoberfläche, u. a. der Orte für Probenentnahme	Mikrostruktur der Kernoberfläche, Erkennung von Staub und Eis an der Oberfläche	DLR, Deutschland
SESAME	Akustische Oberflächensondierung (CASSE), Staubeinschlagmonitor (DIM), Dielektrizitätssonde (PP)	Induktion von akustischen (CASSE) und elektrischen (PP) Signalen in das oberflächennahe Kometenmaterial; piezoelektrischer Einschlagdetektor für Staubteilchen (DIM)	Mechanische und elektrische Eigenschaften des oberflächennahen Kernmaterials, Fluss, Masse und Geschwindigkeit der Staubteilchen	DLR/MPS, Deutschland; FMI, Finnland
MUPUS	Sensoren zur Untersuchung der Temperatur und Festigkeit der Oberfläche und der oberflächennahen Bodenschicht: Penetrator mit Hammer und Temperatursensoren	Temperaturprofile, thermische Eigenschaften, Festigkeit und Dichte des Kernmaterials bis 30 Zentimeter Tiefe	Mechanismen der Gasfreisetzung, Energiebilanz, Ursprünglichkeit und Veränderung des Kernmaterials	DLR, Deutschland
ROMAP	Magnetometer, Plasmamonitor	Magnetfeldmessungen, Messungen von Ionen und Elektronen, Messungen des Atmosphärendrucks	Magnetisierung des Kerns, Plasmaumgebung des Kerns, Plasmawechselwirkung mit dem Sonnenwind	TU Braunschweig, Deutschland
CONSERT	Kernsondierung mit Radiowellen	Sender und Empfänger auf Orbiter und Landeeinheit	Innere Struktur des Kometenkerns	LPG, CNRS, Frankreich
SD2	Bohrer und Probenverteiler	Probenentnahme aus der Kometenoberfläche und Vorbehandlung durch Erwärmung; mechanische Eigenschaften der Kometenoberfläche	Probenbereitstellung für CIVA, COSAC und PTOLEMY	Politechnico di Milano, Italien



Ein Blick auf die drei Spindeln des Abstoßmechanismus. Während der zehnjährigen Reise zum Kometen verbinden diese drei Gewindespindeln die Landeeinheit mit der Raumsonde. Die Abstoßgeschwindigkeit hängt davon ab, wie schnell die Spindeln gedreht werden. Foto: MPS

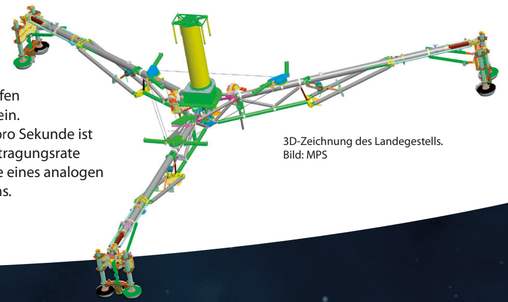
Landen und „Überleben“ auf dem Kometen: Die technischen Subsysteme

Aufsetzen bei minimaler Schwerkraft

Mit dem Abtrennen von der Raumsonde beginnt Philaes Landeanflug auf den Kometen 67P/Churyumov-Gerasimenko. Da die Landeeinheit über kein eigenes Antriebssystem verfügt, nähert sie sich der Kometenoberfläche allein durch den Einfluss der Schwerkraft. Die Flugbahn – und damit der gewünschte Landeplatz – lässt sich nur zum Zeitpunkt des Loslösens von der Raumsonde beeinflussen: Entscheidend sind Geschwindigkeit, Flugbahn und Ausrichtung des Orbiters sowie die Geschwindigkeit, mit der Philae von ihm abdockt. Diese exakt einzustellen, ist Aufgabe des Abstoßmechanismus. Möglich sind Ablösegeschwindigkeiten zwischen 0,18 und 1,8 Kilometern pro Stunde. Philae beginnt seine Reise somit deutlich gemächlicher als ein durchschnittlicher Spaziergänger. Auch das Aufsetzen selbst ist ein Kunststück. Mit einem Durchmesser von etwa vier Kilometern erzeugt 67P/Churyumov-Gerasimenko ein sehr schwaches Schwerefeld. Philae wiegt dort nur wenige Gramm. Die extrem schwache Anziehungskraft stellt besondere Anforderungen an das dreibeinige Landegestell. Schließlich würde ein minimales Wiederhochschnellen nach dem Aufprall genügen, um das Schwerefeld des Kometen unfreiwillig zu verlassen. Ein Motor, der mit dem Landegestell oberhalb der Beine verbunden ist, wandelt deshalb die Bewegungsenergie des Aufpralls in elektrische Energie um. Für eine feste Verankerung im Untergrund sorgen zwei Harpunen, die beim Landen hervorschießen und in die Kometenoberfläche eindringen. Motoren zurren die Landeeinheit fest. Zudem sind die Landefüße an ihren Unterseiten mit 16 Zentimeter langen Schrauben ausgerüstet. Sobald die Füße auf der Oberfläche aufsetzen, drehen sich die Schrauben in den Boden. Runde Sohlen an den Füßen verhindern ein zu tiefes Einsinken.

Betrieb in eisiger Kälte

Sobald Philae die Oberfläche des Kometen erreicht hat und fest verankert ist, beginnt der wissenschaftliche Teil der Landemission. Zu diesem Zweck ist Philae mit zwei Batterien ausgestattet. Die Primärbatterie liefert eine Energie von etwa 1000 Wattstunden und ermöglicht einen knapp dreitägigen Betrieb der wissenschaftlichen Instrumente. Sie ist nicht wiederaufladbar. Danach übernimmt die Sekundärbatterie die Energieversorgung. Sie liefert zwar nur 150 Wattstunden und somit etwa doppelt soviel Energie wie der Akku eines Laptops, wird jedoch von den Solarzellen an der Außenseite von Philae gespeist. Diese bestehen aus speziellem Silizium, das für den Einsatz bei niedrigen Temperaturen und geringer Sonnenintensität optimiert ist. Trotz der eisigen Umgebung fallen die Temperaturen im Innern der Landeeinheit nicht unter -55 Grad Celsius. Wichtigste Wärmequelle ist die Abwärme der elektronischen Systeme. Eine mehrlagige, nur wenige Millimeter dicke Isolierfolie schließt diese im Innern der Landeeinheit ein. Auch die Sonne hilft ein wenig: Eine schwarze Folie an der Oberseite der Landeeinheit absorbiert Sonnenlicht und wandelt es in Wärme um.
Während der Landemission auf dem Kometen dient die Raumsonde Rosetta der Landeeinheit als eine Art Relaisstation: Kommandos von der Erde ebenso wie Daten von der Kometenoberfläche treffen zunächst dort ein.
Mit 10 Kilobit pro Sekunde ist die Datenübertragungsrate geringer als die eines analogen Telefonmodems.



3D-Zeichnung des Landegestells.
Bild: MPS

Mission Rosetta

Rosetta ist eine Mission der Europäischen Weltraumagentur (ESA) mit Beiträgen der Mitgliedsstaaten und der amerikanischen Weltraumagentur NASA.

Landeeinheit Philae

Die Landeeinheit Philae wurde von einem internationalen Konsortium unter Leitung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), des MPS, der französischen und der italienischen Weltraumagentur (CNES und ASI) zur Verfügung gestellt.
Das DLR stellt den Missionsleiter, das MPS und CNES die beiden wissenschaftlichen Leiter der Landemission. Fünf von zehn Subsystemen der Landeeinheit wurden am MPS entwickelt und gebaut, darunter der Abstoßmechanismus und das komplette Landegestell. Verantwortlich für die anderen Systeme zeichnen das DLR in Köln, das DLR in Braunschweig und CNES.
Das MPS hat zudem die Leitung bei zwei wissenschaftlichen Instrumenten der Landeeinheit: dem Gasanalysator COSAC und dem Staubeinschlagmonitor DIM, einem Teilinstrument des Instrumentenpaketes SESAME. Zudem war das Institut an Bau und Entwicklung der Instrumente ROMAP und CONSERT beteiligt.

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung

Das Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung (MPS) ist weltweit die Forschungseinrichtung mit der stärksten Beteiligung an der Mission Rosetta. Neben der starken Beteiligung an der Landeeinheit Philae hat das Institut die Leitung bei zwei Instrumenten des Orbiters: dem wissenschaftlichen Kamerasystem OSIRIS und dem Massenspektrometer COSIMA. Weitere Orbiter-Instrumente, zu denen das Institut beigetragen hat, sind ROSINA, MIRO und CONSERT.

Kontakt:
Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung
Justus-von-Liebig-Weg 3
37077 Göttingen
Tel.: +49 551 384 979-0
E-Mail: presseinfo@mps.mpg.de
www.mps.mpg.de; www.rosetta.mps.mpg.de

Dr. Hermann Böhnhardt
Philae Lead Scientist
Tel.: +49 384 979-545
E-Mail: Boehnhardt@mps.mpg.de

Dr. Reinhard Roll
MPS-Manager for Mechanisms and Avionics
Tel.: +49 384 979-166
E-Mail: Roll@mps.mpg.de

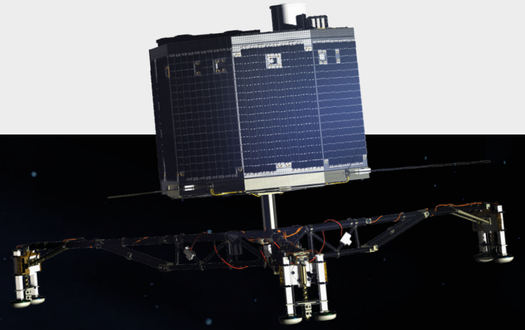
Dr. Birgit Krummheuer
Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Tel.: +49 551 384 979-462
E-Mail: Krummheuer@mps.mpg.de

Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung

PHILAE

EXPEDITION ZUR URMATERIE EINES KOMETEN

Die Landeeinheit der Mission Rosetta



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT