

Auf ihrer fast zehn Jahre langen Reise zum Kometen 67P/Tschurjumow-Gerasimenko, den sie im Mai 2014 erreichen soll, umkreist Rosetta auf wechselnden Umlaufbahnen mehrmals die Sonne und legt dabei 6,5 Milliarden Kilometer zurück. Die Positionen der Planeten sind für den 5. September 2008, den Tag des Vorbeiflugs am Asteroiden (2867) Steins, angegeben.

ESA/PL/SuW-Grafik

Rosettas Vorbeiflug an (2867) Steins erfolgreich

Planmäßig passierte die europäische Raumsonde Rosetta am 5. September 2008 den Asteroiden (2867) Steins. Die dabei gewonnenen Aufnahmen des Kleinplaneten sorgten für eine Überraschung.

Nach vier Jahren Flug erreichte Rosetta in der Nacht vom 5. auf den 6. September ein weiteres Etappenziel ihrer Reise. Um 20:58 Uhr MESZ näherte sie sich dem Asteroiden bis auf 800 Kilometer. Die Bordinstrumente untersuchten während des Vorbeiflugs die Topografie des Kleinplaneten und analysierten seine chemische und mineralogische Zusammensetzung.

Die gesammelten Daten werden nun in den nächsten Monaten ausgewertet.

Die Aufnahmen der Kamera OSIRIS enthüllen einen unregelmäßig geformten Himmelskörper mit einer Ausdehnung von rund fünf Kilometern (siehe die Sequenz rechts oben). Auffällig ist dabei insbesondere ein etwa zwei Kilometer großer Einschlagkrater, der unter den beteiligten

Wissenschaftlern für Verblüffung sorgte. Die Größe des Kraters wirft die Frage auf, wie (2867) Steins einen solch gewaltigen Einschlag überstehen konnte.

Rosettas Weg durch das Sonnensystem

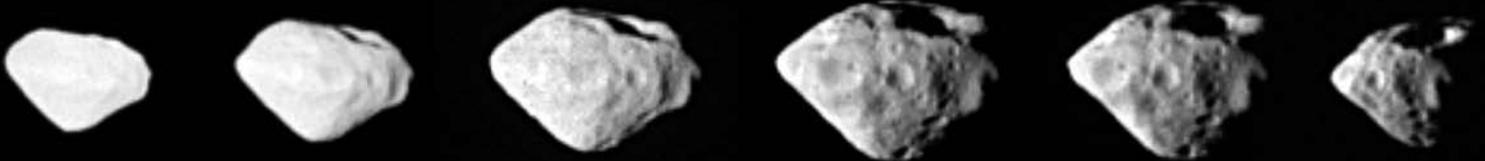
Das eigentliche Ziel der europäischen Mission Rosetta ist ein Rendezvous mit dem Kometen 67P/Tschurjumow-Gerasimenko im Jahr 2014. Dieser kommt bis auf rund 1,3 Astronomische Einheiten an die Sonne heran und entfernt sich bis zu 5,7 Astronomische Einheiten von ihr. Seine Bahnebene ist gegen die Ekliptik um etwa 9,9 Grad geneigt. Weil Rosetta diese Bahn mit der zur Verfügung stehenden Trägerrakete nicht direkt erreichen konnte, musste die Raumsonde durch mehrere nahe Vorbeiflüge an Erde und Mars Schwung holen. Dies wird auch »Swingby« genannt.



Wissenschaft in die Schulen!

Zu diesem Beitrag stehen Ihnen didaktische Materialien auf unserer Internetseite www.wissenschaft-schulen.de kostenlos zur Verfügung. Dieses Projekt provoziert Fragestellungen in Wissen-

schaft und Technik und eignet sich gut für fächerverknüpfenden Unterricht. Das Projekt Wissenschaft in die Schulen! führen wir in Zusammenarbeit mit der Landesakademie für Lehrerbildung in Bad Wildbad durch. Es wird von der Klaus Tschira Stiftung gGmbH großzügig unterstützt.



ESA/MPS/OSIRIS-Team

Aus einer Distanz von 800 Kilometern gelangen der europäischen Kometensonde Rosetta bei ihrem Vorbeiflug mehrere Aufnahmen des Asteroiden (2867) Steins.

Nach ihrem Start im März 2004 befand sich Rosetta deshalb auf einer Bahn, die sie nach einer Sonnenumkreisung am 4. März 2005 wieder zur Erde zum ersten Swingby führte. Es ging weiter zum Roten Planeten, den Rosetta am 25. Februar 2007 passierte [1]. Das nächste Etappenziel war wieder die Erde, an der die Sonde am 13. November 2007 zum weiteren Schwungholen vorbeiflog. Die Flugbahn wurde nun so getrimmt, dass Rosetta am 5. September 2008 den Kleinplaneten (2867) Steins in nur rund 800 Kilometer Distanz passieren konnte.

Bereits im März 2006 richteten die Flugkontrolleure die Kamera OSIRIS auf den zu diesem Zeitpunkt 159 Millionen Kilometer entfernten Kleinplaneten. Aus der Lichtkurve ergab sich für (2867) Steins eine Rotationsdauer von 6 Stunden 3 Minuten.

(2867) Steins aus der Nähe betrachtet

Die ersten Telemetriedaten des erfolgreichen Vorbeiflugs erreichten das Europäische Raumflugkontrollzentrum (ESOC) in Darmstadt am 7. September um 22:14 Uhr MESZ. Während des eigentlichen Vorbeiflugs bestand kein Funkkontakt, da Rosettas Antenne wie vorgesehen nicht auf die Erde ausgerichtet war. Zum Zeitpunkt der geringsten Entfernung bewegte sich die Raumsonde mit einer Geschwindigkeit von 8,6 Kilometern pro Sekunde relativ zu (2867) Steins. Um den Asteroiden dabei im Sichtfeld der Instrumente zu halten, musste sich Rosetta sehr rasch um die eigene Achse drehen, denn die Geräte sind fest am Sondenkörper montiert. Dieses komplizierte Manöver wurde bereits im März 2008 mit Hilfe von Computersimulationen erprobt und als durchführbar eingestuft.

(2867) Steins zählt zu den Asteroiden vom Typ E, einer seltenen Kategorie unter den Kleinplaneten. Sie weisen eine relativ geringe Größe auf und umkreisen die

Sonne meist im inneren Bereich des Asteroidenhauptgürtels zwischen den Bahnen von Mars und Jupiter. Forscher vermuten, dass sie hauptsächlich aus Silikatmineralen bestehen, aber nur wenig bis gar kein metallisches Eisen enthalten. Wahrscheinlich sind es Bruchstücke größerer Asteroiden, die bereits im jungen Sonnensystem zerstört wurden.

Wie geht es weiter?

Während des Vorbeiflugs an (2867) Steins waren Rosetta und der Asteroid rund 315 Millionen Kilometer von der Erde entfernt.

Die Raumsonde steht nun vor ihrem dritten und letzten Swingby an unserem Heimatplaneten, der für den 13. November 2009 geplant ist. Am 10. Juli 2010 soll die Sonde den Asteroiden (21) Lutetia in etwa 1000 Kilometer Abstand passieren. Derart nahe Begegnungen liefern nicht nur neue wissenschaftliche Erkenntnisse, sondern bieten dabei auch immer die Gelegenheit, die Bordinstrumente zu testen. So können sie für die eigentlichen Hauptaufgaben optimal kalibriert werden.

Ab Juli 2011 wird Rosetta dann in einen »Tiefschlaf« versetzt (englisch: *deep space*

Die Mission

Rosetta ist eine der Cornerstone-Missionen der europäischen Weltraumorganisation ESA. Ursprünglich zusammen mit der NASA geprüft, um von einem Kometen Material zurück zur Erde zu bringen, ist Rosetta nun eine Mission der ESA, trägt aber auch drei von der NASA gebaute Instrumente an Bord. Ziel der Mission sind in-situ-Messungen auf der Oberfläche des Kometen 67P/Tschurjumow-Gerasimenko.

Rosetta ist die erste Mission, die ein Rendezvous mit einem Kometenkern unternehmen wird und daher längere Zeit in dessen Umlaufbahn verbleibt. Die Muttersonde trägt einen Lander, genannt Philae, der auf der Kometenoberfläche weich landen soll. An Bord von Philae befinden sich Instrumente zur Analyse der chemischen Zusammensetzung und der physikalischen Eigenschaften des Kometenkerns.

Ereignis	Zeitpunkt
Programmbeginn	1993
Start	2. März 2004
1. Erdvorbeiflug	4. März 2005
Swingby am Mars	25. Februar 2007
2. Erdvorbeiflug	13. November 2007
Vorbeiflug am Kleinplaneten (2867) Steins	5. September 2008
3. Erdvorbeiflug	geplant für den 13. November 2009
Vorbeiflug am Kleinplaneten (21) Lutetia	geplant für den 10. Juli 2010
Schlafphase	geplant für Juli 2011 bis Januar 2014
Rendezvous mit 67P/Tschurjumow-Gerasimenko	geplant für Mai 2014
Beginn der Oberflächenkartierung	geplant für August 2014
Landung auf 67P/Tschurjumow-Gerasimenko	geplant für November 2014
Missionsende	geplant für Dezember 2015

hibernation), eine Phase, bei der sich die Bordsysteme im Ruhezustand befinden. Erst im Januar 2014 soll sie wieder aus ihrem Schlaf erwachen. Diese Ruhezeit dient dazu, die empfindlichen Instrumente zu schonen und erlaubt auch Einsparungen beim Bodenpersonal.

Nach einer Reise von insgesamt 6,5 Milliarden Kilometern erreicht Rosetta im Frühling 2014 ihr eigentliches Ziel, den Kometen 67P/Tschurjumow-Gerasimenko. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich der noch inaktive Himmelskörper etwa vier Astronomische Einheiten von der Sonne entfernt. Nachdem Rosetta in eine Umlaufbahn eingetreten ist, beginnt sie die Kometenoberfläche nach einem passenden Landeplatz für die rund hundert Kilogramm schwere Landesonde Philae abzusuchen, die seit dem Missionsstart im März 2004 huckepack mitgereist ist. Philae soll im November 2014 auf dem Kometenkern aufsetzen.

Da die Schwerkraft des Kometen nur sehr gering ist, haben die Wissenschaftler einige Sicherheitsvorkehrungen getroffen, damit Philae nach dem Aufsetzen nicht wieder von der Oberfläche zurückprallt. Unmittelbar nach der ersten Bodenberührung schießt eine Harpune heraus, welche die Sonde fest im Untergrund verankern soll. Zusätzlich geben die Steuerdüsen noch einmal kurz Schub nach unten und drücken die Sonde auf die Oberfläche. Philae soll für mindestens eine Woche Messdaten auf der Kometenoberfläche sammeln. Die Forscher hoffen allerdings, dass die Landesonde einige Monate durchhält.

Rosetta wird 67P/Tschurjumow-Gerasimenko inzwischen weiter umrunden und ihn auf seinem Weg ins innere Sonnensystem begleiten. Dabei untersucht sie während der Annäherung an unser Zentralgestirn unter anderem die Aktivitätszunahme des Kometenkerns. Außerdem sollen präzise Bahndaten, die Topografie sowie die chemische und mineralogische Zusammensetzung des Kometenkerns im Detail analysiert werden. Im August 2015 erreicht der Komet seinen sonnennächsten Bahnpunkt und ist dann besonders aktiv. Das Missionsende ist für Dezember 2015 vorgesehen. MIRCO SANER, AXEL M. QUETZ

Literaturhinweis

Althaus, T.: Zum Kometen? Bitte beim Mars links abbiegen! In: *Sterne und Weltraum* 4/2007, S. 16–18.

Kleinplanet (2867) Steins in Zahlen

Eigenschaft	Wert
Große Bahnhalbachse	2,364 Astronomische Einheiten
Bahnexzentrizität	0,146
Neigung der Bahnebene	9,944 Grad
Umlaufzeit	1327,6 Tage
Mittlere Größe (aus Vorbeiflugdaten)	5 Kilometer
Größe (aus erdgebundenen Beobachtungen)	5,73 km × 4,95 km × 4,58 km (±0,5 km)
Rotationsperiode	6,052 Stunden
Absolute Helligkeit	12,561 mag
Albedo	0,35 ± 0,05
Spektralklasse	E

ZUM NACHDENKEN



Rosettas Kamera OSIRIS

Die europäische Raumsonde Rosetta besuchte auf ihrem Weg zum Kometen 67P/Tschurjumow-Gerasimenko am 5. September 2008 den Kleinplaneten (2867) Steins. Eines der mitgeführten wissenschaftlichen Geräte ist OSIRIS (*Optical, Spectroscopic, and Infrared Remote Imaging System*). Das Kamerasystem wurde von Horst-Uwe Keller und seinem Team am Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung entworfen. Keller hatte auch schon jene Kamera entwickelt, die auf der Sonde Giotto zum Kometen Halley flog.

OSIRIS verfügt über zwei komplementäre Kameras: WAC (*wide angle camera*) ist eine Weitwinkelkamera, und NAC (*narrow angle camera*) ist eine Teleskamera. Die Detektorchips besitzen jeweils 2048×2048 Pixel. Mit WAC, deren Gesichtsfeld bei $12^\circ \times 12^\circ$ liegt, gelangen die auf Seite 23 gezeigten Bilder von (2867) Steins.

Aufgabe 1: Bei einer Kamera kommt es unter anderem auf zwei Dinge an: das Auflösungsvermögen und den Abbildungsmaßstab. Das Auflösungsvermögen σ lässt sich berechnen aus der Wellenlänge λ , bei der beobachtet wird, und der Teleskopöffnung D :

$$\sigma = 70^\circ \times \frac{\lambda}{D}$$

Die Weitwinkelkamera WAC ist im Wellenlängenbereich $\lambda = 240$ bis 720 nm empfindlich, ihre Brennweite liegt bei

$f = 135$ mm, und ihre Lichtstärke beträgt $D = f/5,6$. **a)** Man berechne die Teleskopöffnung und **b)** für die mittlere Wellenlänge $\lambda = 500$ nm das Auflösungsvermögen von WAC.

Aufgabe 2: Welchen Abbildungsmaßstab μ (Bogensekunden pro Pixel) besitzt WAC? Ist er in Hinsicht auf das Auflösungsvermögen sinnvoll gewählt?

Aufgabe 3: Welche Ausdehnung (in Pixeln) nahm der Kleinplanet (2867) Steins beim Vorbeiflug in 800 km Distanz auf dem CCD-Chip von WAC ein?

Zusatzaufgabe: Der mittlere Radius von 67P/Tschurjumow-Gerasimenko beträgt $r = 2,38$ km, die mittlere Dichte sei $\rho = 1,5$ g/cm³. Welche Beschleunigung g_{TG} verspürt die Landesonde Philae auf seiner Oberfläche? AXEL M. QUETZ

Literaturhinweis

Keller, H. U. et al.: OSIRIS – The scientific Camera system onboard Rosetta. In: *Space Science Reviews* 128, S. 433–506, 2007.

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **15. November** an:
Redaktion SuW – Zum Nachdenken,
Max-Planck-Institut für Astronomie,
Königstuhl 17, D-69117 Heidelberg.
Fax: 06221-528246.

Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern **Preise** verlost: siehe Seite 125.