

Falke im Anflug Wie ein Raubvogel wird Hayabusa auf den Asteroiden herabstoßen, ihre Beute schnappen und zur Erde zurückkehren.



A. IKESHITA, MINORBODY EXPLORATION FORUM / JAXA, ISAS

Einmal Asteroid und zurück

Noch während »Deep Impact« die Astrofans begeistert, gelangt Japans Sonde Hayabusa im September ganz still ans Ziel. Sie soll Bodenproben eines Asteroiden zur Erde bringen.

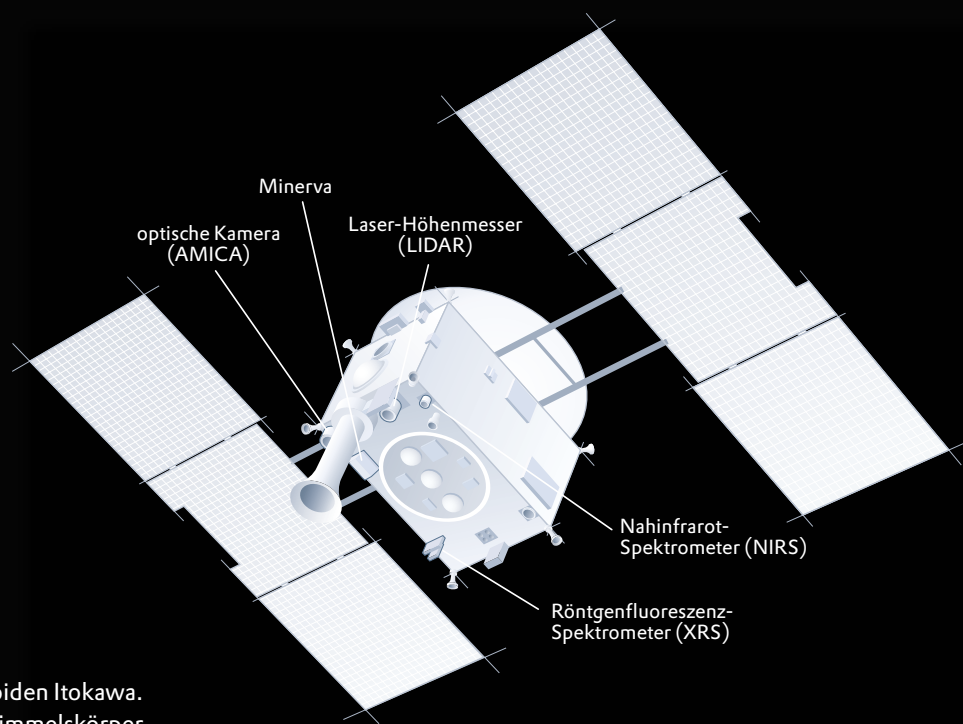
>> **Beth Ellen Clark und Kelli B. Grant**

Vorsichtig betritt eine kleine Gruppe japanischer und amerikanischer Wissenschaftler einen Ultrareinraum, in dem ein Kanister mit Bodenproben darauf wartet, geöffnet zu werden. Von Kopf bis Fuß in sterile weiße Schutzanzüge gehüllt, blicken die Forscher gespannt auf den glänzenden Metallbehälter, begierig darauf, seinen Inhalt zu untersuchen. Der Kanister enthält

etwas für die Wissenschaftler unschätzbar Kostbares: einen Fingerhut voll Gesteinspartikel von einem Asteroiden, von 25143 Itokawa. Eine Fünf-Gramm-Kugel, mit dreihundert Meter pro Sekunde abgefeuert, hatte sie aus dem fremden Boden geschossen. Nun haben sie einen 150 Millionen Kilometer langen Flug zur Erde hinter sich. Niemand konnte im Voraus sagen, ob sie diese anstren-

gende Reise überstehen würden. Seit über einem Jahrzehnt hatten die Wissenschaftler auf diesen Moment gewartet.

So in etwa könnte es zugehen, wenn die Forscher im Sommer 2007 den vom japanischen Raumschiff Hayabusa mitgebrachten Behälter öffnen. Wenn alles gut geht, finden sie darin Stücke des Asteroiden 25143 Itokawa, der auf einer erdnahen Bahn um die Sonne kreist.



Genauer Blick

Im September 2005 erreicht Hayabusa den Asteroiden Itokawa. Drei Monate lang soll die Sonde über dem Himmelskörper schweben, während die Wissenschaftler seine physikalische Beschaffenheit erkunden.

Ankunft und Musterung

Mit Hilfe der Instrumente an Bord werden sie Itokawas Größe, Form, Rotationsachse und -dauer, Topografie sowie Zusammensetzung und Beschaffenheit der Oberfläche bestimmen. Auch die Masse des Asteroiden lässt sich ermitteln. Daraus und aus angenommenem Volumen und Zusammensetzung können die Forscher schließlich Rückschlüsse ziehen, wie dicht und wie porös Itokawa ist. Auch ein akkurates Topografiemodell des Asteroiden wollen sie erstellen.

Oberflächenerkundung

Einer der innovativsten Bestandteile der Mission ist der Lander Minerva. Da die Schwerkraft auf Itokawas Oberfläche sehr gering ist, wäre ein Erkundungsfahrzeug mit Rädern völlig ungeeignet. Stattdessen entsendet Hayabusa einen kanisterförmigen, mit Sonnenenergie betriebenen Roboter, der über den Asteroiden »hüpft«. Dabei beobachtet er dessen Oberfläche mit drei Kameras. Minerva soll Itokawa autonom erforschen, ohne Kommandos von der Erde. Auch seine Bilder und Temperaturdaten sendet der Roboter selbstständig an Hayabusa.

Asteroiden sind Überreste der Entstehungsphase unseres Sonnensystems. Ihre Zusammensetzung ähnelt daher den Zutaten, aus denen die Erde und die anderen inneren Planeten entstanden sind. Hayabusa ist also eine Art astronomischer Archäologe, der uns Bruchstücke aus der Frühzeit des Sonnensystems ins heimische Labor bringen soll.

Die ursprünglich Muses-C genannte Mission startete am 9. Mai 2003 vom Raumfahrtzentrum Kagoshima auf der Insel Kyushu. Traditionsgemäß erst nach dem Start erhielt die Sonde dann den Namen Hayabusa – japanisch für Wanderfalken –, weil sie einem Falken gleich herabstößt und sich ihre Beute schnappt.

Voraussichtlich in diesem September wird sie beim Asteroiden Itokawa eintreffen. Für die japanische Raumfahrtbehörde Jaxa (Japan Aerospace Exploration Agency) steht dann einiges auf dem Spiel. Denn deren letzte interplanetarische Mission, die Marssonde Nozomi,

endete als Fehlschlag: Hilflos raste das Raumschiff Ende 2003 am Roten Planeten vorbei, weil sein Antrieb versagte.

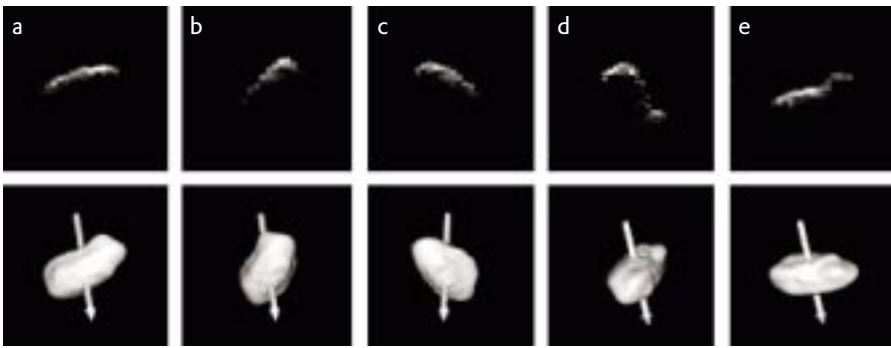
25143 Itokawa nähert sich der Erdbahn bis auf 1,8 Millionen Kilometer. Doch er war nicht immer ein erdnaheer Asteroid. Die Forscher glauben, dass ihn die Schwerkrafteinwirkung von Jupiter und Mars vor Millionen von Jahren aus dem Asteroidengürtel heraus in seine jetzige exzentrische Umlaufbahn geschleudert hat.

Ein vertrautes Ziel

Weil Itokawa der Erde so nahe kommt, konnten die Astronomen den Himmelskörper mit bodengebundenen Teleskopen bereits in vielen Wellenlängen unter die Lupe nehmen. Der Asteroid ist kartoffelförmig und rund 490 mal 180 Meter groß. Vermutlich handelt es sich um einen gewöhnlichen Chondriten. Zu dieser Art gehören 85 Prozent aller Meteoriten, die auf die Erde fallen. Die Forscher ha-

ben Itokawa als S-Typ klassifiziert. Sein Inneres ist demnach noch ursprünglich und wurde niemals stark genug erhitzt, um zu schmelzen.

Aber Itokawa zeigt auch einige Seltsamkeiten. So reflektiert seine Oberfläche etwas mehr Licht als bei typischen Asteroiden des S-Typs sonst üblich. Die mittlere Albedo eines S-Asteroiden, das Rückstrahlvermögen, beträgt zwanzig Prozent – diejenige von Itokawa dagegen liegt zwischen 23 und 41 Prozent. Und obwohl Sonnenstrahlung und das Bombardement durch Mikrometeoriten seine äußeren Schichten über Millionen Jahre hin verändert haben dürften, deuten starke Farbkontraste auf der Oberfläche darauf hin, dass Teile von Itokawa frischer sind als bei anderen S-Typ-Asteroiden. Außerdem zeigen Infrarotmessungen, dass Itokawa nur sehr dünn mit Regolith (einer Art Staubschicht) bedeckt ist: Modellrechnungen deuten auf eine Dicke von nur einem Meter hin. Mögli-



Asteroidenpuzzle Mit dem Radioteleskop des Arecibo Observatory in Puerto Rico (a, b, c) und der Goldstone-Antenne in Kalifornien (d, e) haben Astronomen Aufnahmen von 25143 Itokawa gemacht. Aus den Rohbildern (obere Reihe) haben sie ein dreidimensionales Modell des Asteroiden entwickelt (unten). Der Pfeil zeigt die vermutete Rotationsachse an.

NASA, JPL, STEVE OSTRO

cherweise zeigt sich an einigen Stellen sogar nacktes Felsgestein an der Oberfläche. Vielleicht wurde Itokawa in geologisch jüngster Vergangenheit von mehreren kleineren Körpern getroffen, wobei Flecken unveränderten Materials zum Vorschein kamen.

Ein langer Weg für eine kleine Sonde

Hayabusa ist nicht nur wegen ihrer wissenschaftlichen Ziele einzigartig. Die fünfhundert Kilogramm schwere Sonde zeichnet sich durch eine ganze Reihe von Techniken aus, mit denen die Jaxa Neuland betritt. Statt eines konventionellen Antriebs besitzt Hayabusa einen Xenon-

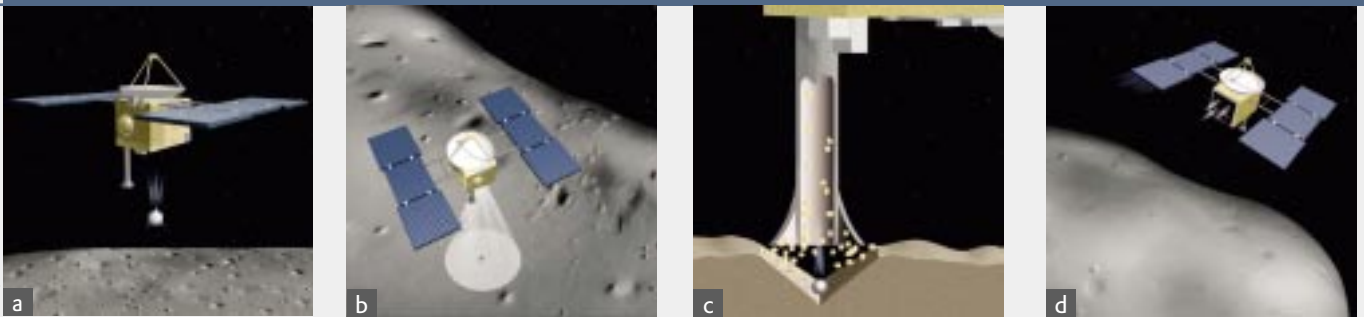
Ionenantrieb. Außerdem ist die Sonde mit einem autonomen Navigationssystem ausgestattet. Da bislang niemand die exakten Dimensionen von Itokawa kennt, muss Hayabusa ihren Abstand von dem Kleinplaneten mit der Navigationskamera Amica (Asteroid Multiband Camera) und dem Laser-Höhenmesser Lidar ständig neu bestimmen – und zwar in Echtzeit, ohne Verzögerungen durch die Kommunikation mit der Erde. Lidar liefert den Forschern darüber hinaus Informationen über Form und Volumen des Asteroiden. Auch Amica misst Größe, Form, Volumen und Rotation des Asteroiden; die Kamera soll zudem schwache Unterschiede in der Oberflächenfärbung

registrieren und nach kleinen Trabanten Ausschau halten, die Itokawa umkreisen könnten.

Das im nahen Infraroten arbeitende Spektrometer Nirs und das Röntgenfluoreszenz-Spektrometer XRS komplettieren Hayabusas Instrumentenpark. Beide sollen die chemische Beschaffenheit der Asteroidenoberfläche untersuchen.

Wer Itokawa wirklich verstehen will, muss jedoch ein Stück von dem Asteroiden zur Erde bringen. Und genau das ist Hayabusas wichtigstes Ziel. Wenn die Raumsonde in zehn Kilometer Höhe über dem Himmelskörper schwebt, werden die Wissenschaftler Ausschau nach dem besten Ort zum Einsammeln von

Kontakt!



S&T, GREGG DINDERMAN

Drei Monate lang werfen die Forscher prüfende Blicke auf die Oberfläche von Itokawa. Dann ist es Zeit für den nächsten Schritt: ein Stück des Asteroiden zur Erde zu holen.

Zunächst wählen die Missionswissenschaftler drei geeignete Plätze zum Sammeln der Bodenproben aus. Dabei berücksichtigen sie die Tiefe der Regolithschicht, des gemahlene Gesteins auf der Oberfläche, und die Form des Asteroiden. Erst nachdem die Auswahl getroffen ist, landet Hayabusa kurz auf Itokawas Oberfläche.

Kurz vor dem Aufsetzen wirft die Sonde eine melonengroße Zielmarkierung ab (a), die aus stark reflektierendem Material besteht. Mit einer Art Blitzlicht beleuchtet sie diese Markierung und verwandelt so die

Oberfläche praktisch in eine Landebahn (b). Die erste der drei Zielmarkierungen trägt die Namen von 880 000 Personen mit sich, die auf einen Aufruf der Japanischen Planetarischen Gesellschaft geantwortet haben. Solche »Grüße« begleiten viele Weltraummissionen.

Stücke von Itokawas Oberfläche einzusammeln, ist keine einfache Aufgabe. Eine der zahlreichen Schwierigkeiten stellt dabei die geringe Gravitation auf dem Asteroiden dar. Sie beträgt nur 1/750 000 der irdischen Schwerkraft. Das macht sich Hayabusa jedoch zu Nutze, indem sie ein Projektil in die Oberfläche feuert (c): Dadurch, so hoffen die Forscher, werden viele Bruchstücke der Asteroidenoberfläche nach oben ge-

schleudert, wo sie in den Sammeltrichter des Probenkanisters hineinfliegen. Der Kanister wird dann luft- und wasserdicht verschlossen und für die Rückkehr zur Erde vorbereitet (d).

Hayabusa verweilt jeweils nur so lange auf Itokawas Oberfläche, wie sie zum Abfeuern eines Projektils braucht. Sofort danach zündet der Motor und bringt die Sonde in eine Position rund hundert Meter über der Oberfläche. Diesen Vorgang wiederholt sie mindestens einmal. Insgesamt soll Hayabusa so zwei oder drei voneinander unabhängige Proben sammeln. Die Wissenschaftler erwarten, dass die Sonde insgesamt gerade einmal ein paar Gramm Gestein zur Erde bringt.

Bodenproben halten. Mit etwas Glück wird die Sonde mit etwa einem Kubikzentimeter Asteroidenmaterie zurückkehren, kaum einem Teelöffel voll. Doch das sollte reichen, um unser Wissen über die Oberfläche der Asteroiden, über die Beziehung zwischen Meteoriten und Kleinplaneten und unser Verständnis von der Entstehung des Asteroidengürtels zu revolutionieren.

»Meteoriten sind vermutlich Bruchstücke zusammengestoßener Asteroiden. Der Heilige Gral der Asteroidenforschung wäre es deshalb, die chemische Zusammensetzung eines Asteroiden zu bestimmen und zu der eines bestimmten auf der Erde gefundenen Meteoritentyps in Beziehung zu setzen«, sagt Donald Yeomans vom Jet Propulsion Laboratory der Nasa, der im Hayabusa-Team mitarbeitet.

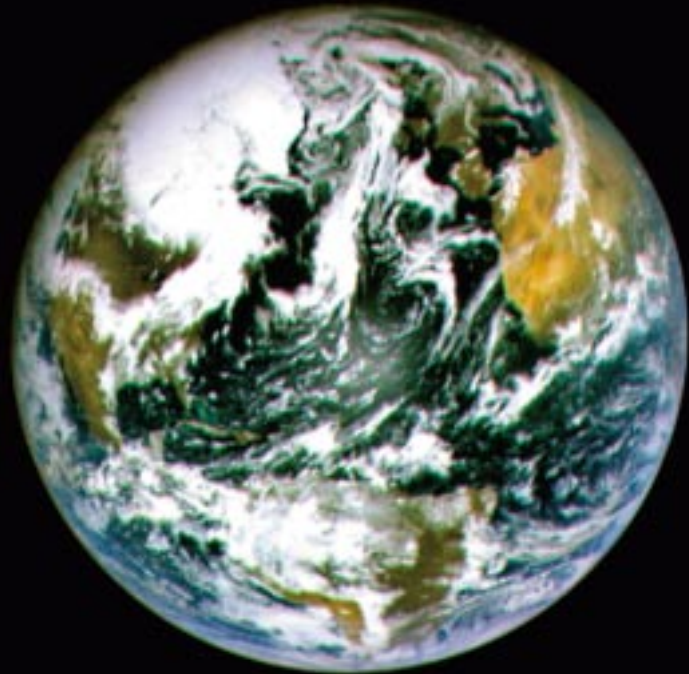
Und Hajime Yano, Planetenforscher am ISAS, dem japanischen Institut für Weltraumforschung, und ebenfalls Mitglied des Hayabusa-Teams, erklärt, dass die Forscher zwar schon Tausende von Meteoritenproben analysiert haben, bislang aber nur sehr wenige einem bestimmten Ursprungskörper im Asteroi-

dengürtel zuordnen konnten. »Nur eine Sample-Return-Mission zu einem spektroskopisch untersuchten Kleinplaneten kann die Kluft überbrücken, die zwischen den erdgebundenen Beobachtungen von Asteroiden und der Laboranalyse von Meteoriten und kosmischem Staub klafft.«

»Wenn wir dieses Wissen nutzen, wird das den wissenschaftlichen Wert aller Meteoriten und der bodengebundenen Spektroskopie von Asteroiden gewaltig erhöhen«, prognostiziert auch Michael E. Zolensky, der dem für die Probenanalyse zuständigen Team des Johnson Space Centers der Nasa angehört. Allerdings, ergänzt Yano, bräuchten die Forscher Proben von allen Hauptgruppen der Asteroiden, um zu verstehen, was die Unterschiede zwischen den einzelnen Typen über die Entstehung des Sonnensystems aussagen.

Gefahr ist nicht gleich Gefahr

Die S-Typen sind jedoch eine Schlüsselgruppe. Sie bilden die Mehrheit der Asteroiden, die der Sonne am nächsten sind. Und bei ihnen ist die Gefahr am größten, dass sie mit der Erde kollidieren. Deshalb ist es für die Wissenschaftler wichtig, ihre innere Struktur zu verstehen. Nur so lässt sich ein Weg finden, ein Objekt abzulenken oder zu zerstören, das sich auf Kollisionskurs mit unserem Planeten befindet. »Wenn es um die Abwehr eines Himmelskörpers geht, der die Erde bedroht, dann ist es ein großer Unterschied, ob wir es mit einem locker



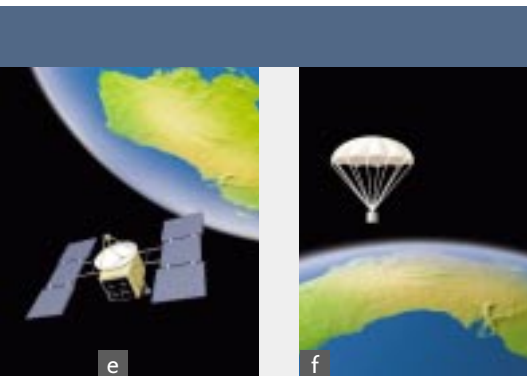
JAXA, ISAS

Rückblick Am 19. Mai 2004 flog Hayabusa an der Erde vorbei, um für die Reise Schwung zu holen. Dabei schoss sie mit der Kamera Amica dieses Foto ihres Heimatplaneten.

gepackten ehemaligen Kometen zu tun haben oder mit einem kompakten Klumpen aus Eisen«, sagt Yeomans. Egal, wie viel wir also bereits über Itokawa wissen: Missionen wie Hayabusa sind wichtig, weil die Meteoriten auf der Erde uns nur unzureichende Informationen über den inneren Aufbau der Asteroiden geben.

Die Ergebnisse von Hayabusa sollen den Forschern auch dabei helfen, die Verwitterungsprozesse im Weltall besser zu verstehen. Nach heutigen Erkenntnissen deuten eine niedrige Albedo und ein gerötetes Spektrum auf eine ältere Asteroidenoberfläche hin. Aber erst die Untersuchung einer originären Bodenprobe ermöglicht den Wissenschaftlern, die Zusammensetzung des Gesteins mit den spektralen Effekten der Verwitterung im All detailliert in Beziehung zu setzen. Ein ambitioniertes Ziel, dessen Erreichen Japan als raumfahrender Nation einiges Renommee einbringen wird. <<

Beth Ellen Clark ist Professorin für Physik am Ithaca College. Von 1996 bis 2001 war sie an der »Near Earth Asteroid Rendezvous«-Mission beteiligt. Ihr gegenwärtiger Forschungsschwerpunkt ist der Zusammenhang zwischen Meteoriten und Asteroiden. **Kelli Beth Grant** ist freie Wissenschaftsjournalistin.



Nach dem zweijährigen Rückflug zur Erde (e) stößt Hayabusa den Probenkanister ab. Dieser soll in der Nähe von Woomera in Südaustralien an einem Fallschirm zur Erde schweben (f). Nach der Bergung und dem Transport nach Japan wird er in einem neuen Speziallabor, das eigens für die Analyse der Itokawa-Proben gebaut wurde, unter kontrollierten Bedingungen geöffnet. Ein Jahr lang haben allein die japanischen Forscher Zugriff auf die Proben. Danach sollen die Bruchstücke von Itokawa Wissenschaftlern in aller Welt zugänglich gemacht werden. Zehn Prozent soll die Nasa erhalten, 45 Prozent der Proben werden für zukünftige Projekte archiviert.