

Die Hayabusa-Mission

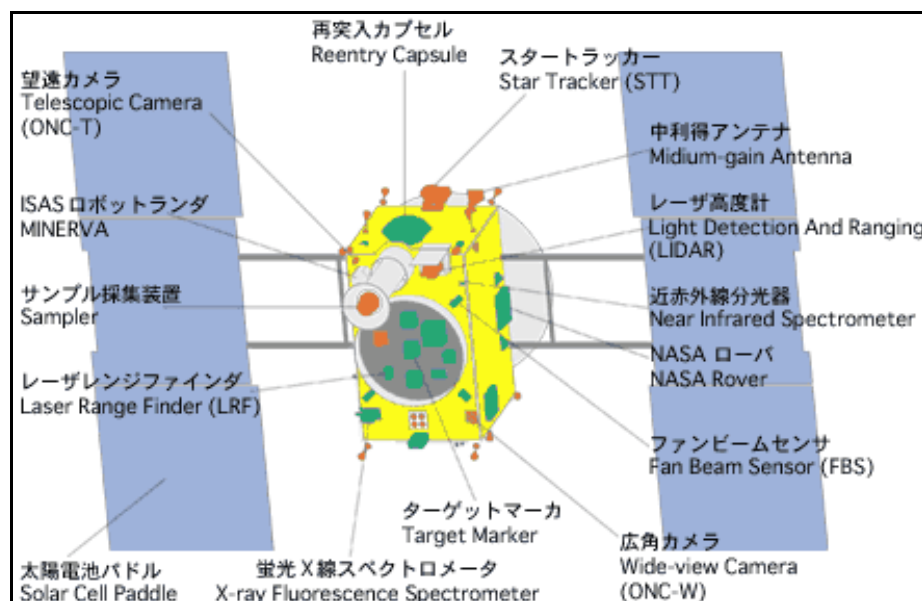
Diese japanische Raumsonde befindet sich seit dem Start mit einer M-V-5-Rakete am 9. Mai 2003 im Weltraum. In der zweiten Jahreshälfte 2005 erreichte sie ihr Ziel, den Asteroiden Itokawa und begann mit der Erforschung dieses kleinen Himmelskörpers. Dabei wurden eine

Reihe von Erkenntnissen gewonnen, wenn auch nicht alle Ziele erreicht werden konnten. Seit Anfang 2006 befindet sich Muses-C (so die ursprüngliche Bezeichnung) auf dem Heimweg zur Erde. Auch auf diesem Abschnitt der Reise gab es einige Probleme, der Bodenkontrolle

gelang es aber, die Raumsonde wieder unter Kontrolle zu bringen. Wenn alles klappt, soll die Rückkehr-Kapsel mit Proben des Asteroiden im Juni 2010 (statt wie geplant im Sommer 2007) auf der Erde landen.

Hayabusa (MUSES-C) ist dafür konzipiert, den Asteroiden sowohl aus einer engen Umlaufbahn zu erforschen als auch Materialproben von seiner Oberfläche zu gewinnen und zur Erde zurück zu bringen. Itokawa ist ein erdnaheer Kleinplanet, dessen Bahn sowohl die Bahn der Erde als auch die des Mars kreuzt, wobei er aber meistens der Erde näher ist. Die Bahn ist leicht geneigt, befindet sich aber nahezu in der Ekliptik, der Ebene des Planetensystemes.

Für die Erreichung dieses fernen Zieles wurde die Raumsonde mit einem elektrischen Antrieb (Ionenantrieb) ausgestattet. Dieser Antrieb erlaubte es, durch langsame aber kontinuierliche Beschleunigung die notwendige hohe Geschwindigkeit zu erreichen. Auch auf der Rückreise zur Erde soll das Ionenantriebswerk eingesetzt werden. Kurz vor dem Erreichen unseres Heimatplaneten wird eine kleine Rückkehr-Kapsel ausgesetzt, die mit mehr als 12 km/s in die Erdatmosphäre eintreten wird. Die Erhitzung des Schutzschildes wird mehr als das Zehnfache als beim Space-Shuttle und auch ein Mehrfaches der Belastung der Apollo-Schutzschilder bei der Rückkehr vom Mond betragen. Die dafür entwickelte Technologie ist daher die derzeit modernste auf diesem Sektor verfügbare. Nach dem Abbremsen durch die Atmosphäre wird die Kapsel dann an einem Fallschirm zu Boden schweben und mit Hilfe eines Funksignals lokalisiert und geborgen werden.



Die japanische Raumsonde MUSES-C/Hayabusa. Grafik: ISAS

Die Bezeichnung MUSES ist eine Abkürzung für „Mu Space Engineering Spacecraft“ (ein durch eine Mu-Rakete gestartetes Experimentalspacecraft). Der Zusatz C bedeutet, daß es sich um das dritte Gerät dieser Serie handelt. Mit Hilfe des im Jahre 1990 gestarteten MUSES-A (HITEN) wurden Techniken wie ein Swing-By beim Mond ausprobiert. MUSES-B (HALCA) wurde 1997 gestartet und ist Teil des VLBI (Very Long Baseline Interferometry). In der Mission von MUSES-C (Hayabusa) werden vier Basis-Technologien getestet: Elektrischer Antrieb, Autonome Navigation, Einsammeln von Bodenproben auf einem Asteroiden und der Rücktransport der Proben zur Erde.

Die Ausstattung der Raumsonde

Die Masse von Hayabusa beträgt etwa 500 Kilogramm. Die Sonde wird so stabilisiert, daß ihre Solar-

zellen normalerweise zur Sonne zeigen. Aufgrund der großen Entfernung zu einem Asteroiden und den daraus resultierenden großen Signallaufzeiten von mehreren Minuten wurde eine autonome Navigationskapazität in die Steuerung integriert. Ausgehend von Messungen mit einer optischen Navigationskamera und anderen Detektoren (Light Detection And Ranging = LIDAR, Laser Range Finder = LRF, Fan Beam Sensors = FBS) ist der Bordrechner in der Lage, ohne Befehle von der Erde eigene Entscheidungen über die Steuerung der Raumsonde treffen. Für die Landung am Asteroiden wurde auch ein künstlicher Ziel-Marker eingesetzt, der vor der Raumsonde auf der Oberfläche platziert wurde. Die Raumsonde war aber auch imstande, Bilder soweit auszuwerten, daß diese auf Orientier-

ungspunkte hin analysiert wurden, um die Navigation zu unterstützen.

Für die Untersuchung der Oberfläche befand sich auch ein kleiner springender Roboter mit dem Namen MINERVA an Bord von MUSES-C. Die Mutter-Sonde selbst ist mit einer Weitwinkel-Kamera (ONC-W), einem LIDAR (Laser-Entfernungsmesser) sowie Röntgen- und Infrarot-Spektrometer ausgestattet.

Der Ionen-Antrieb von Hayabusa verwendet Xenon als Stützmasse, daß durch Mikrowellen ionisiert und dann elektrisch beschleunigt und ausgestoßen wird. Trotz des geringen Schubes in Vergleich zu chemischen Triebwerken haben elektrische Triebwerke eine hohe Effizienz, da der schwache Schub über sehr lange Zeiträume (Wochen und Monate) aufrechterhalten werden kann. Chemische Triebwerke können demgegenüber nur wenige Minuten feuern, bevor ihr Treibstoff verbraucht ist. Daher sind sie für den Start von der Erde wegen der großen notwendigen Schub-Werte derzeit nicht zu ersetzen, während lange interplanetare Reisen mit elektrischen Triebwerken ökonomischer zu bewerkstelligen sind.

Die Mission

MUSES-C wurde am 9. Mai 2003 mit einer M-V-5-Rakete der ISAS (Institute of Space and Astronautical Science, jetzt: Institute of Space and Astronautical Science of JAXA) vom Kagoshima Space Center in Uchi-



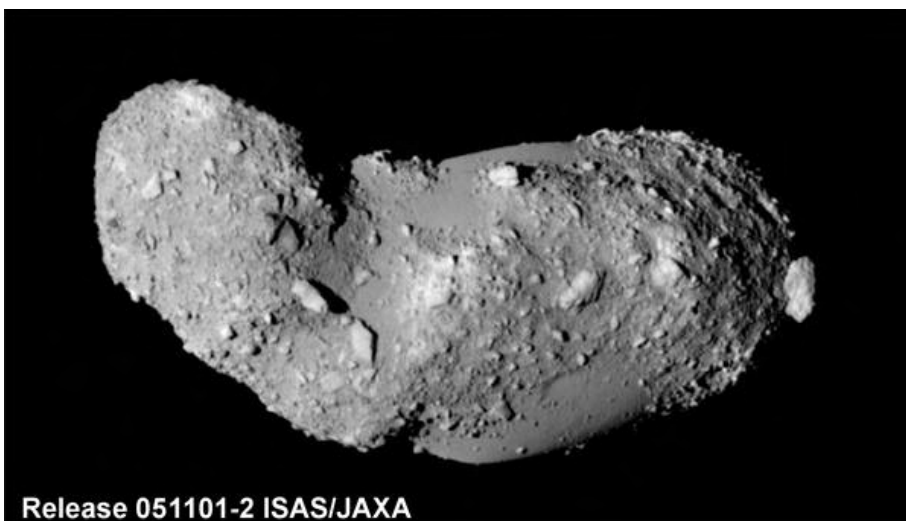
Die südliche Hemisphäre von Itokawa. Foto: ISAS

noura (jetzt: Uchinoura Space Center) gestartet. Nach dem Start wurde die Sonde „HAYABUSA“ (d.h. Falke) genannt. Nach einer langen Reise durch das Sonnensystem und einem Swing-By an der Erde im Jahre 2004 näherte sich die Raumsonde im Sommer 2005 dem Ziel-Asteroiden.

Im August dieses Jahres (2005) wurden erste Fotos des Asteroiden aus einer Entfernung von etwa 10.000 Kilometern aufgenommen. Zu dieser Zeit befand sich der Asteroid etwa 330 Millionen Kilometer von der Erde entfernt. Diese

Aufnahmen wurden vom Bordrechner auch zur Verbesserung des Annäherungskurses verwendet. Ende August stand Hayabusa 4.800 Kilometer entfernt von Itokawa und näherte sich im freien Fall mit etwa 32 km/h bei abgeschaltetem Ionen-Triebwerk. Bis zu diesem Zeitpunkt hatten die vier elektrischen Triebwerke 22 Kilogramm Xenon verbraucht und waren insgesamt 25.800 Stunden im Einsatz gewesen. Damit wurde eine Gesamt-Beschleunigung von 1.400 m/s erzielt. Eines der vier Triebwerke war sogar 10.400 Stunden im Einsatz gewesen. Etwa 2/3 aller Orbitalmanöver waren mit Hilfe der Ionen-Triebwerke bewerkstelligt worden.

Während der Annäherungsphase wurden zahlreiche Aufnahmen von Itokawa aufgenommen, die jeden Tag mehr Details zeigten. Nach Erreichen der richtigen Entfernung wurde die Sonde dann mit den chemischen Triebwerken abgebremst und kam am 12. September um 10.00 Uhr JST (Japanese Standard Time) relativ zum Asteroiden an der sogenannten Gate-Position etwa 20 Kilo-



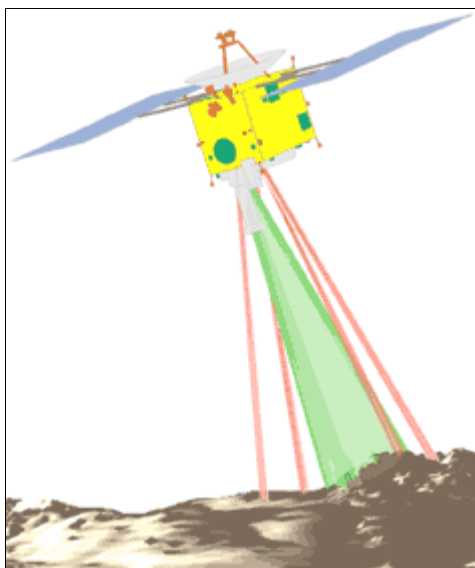
Release 051101-2 ISAS/JAXA

Die Oberfläche von Itokawa auf +270°. Foto: ISAS

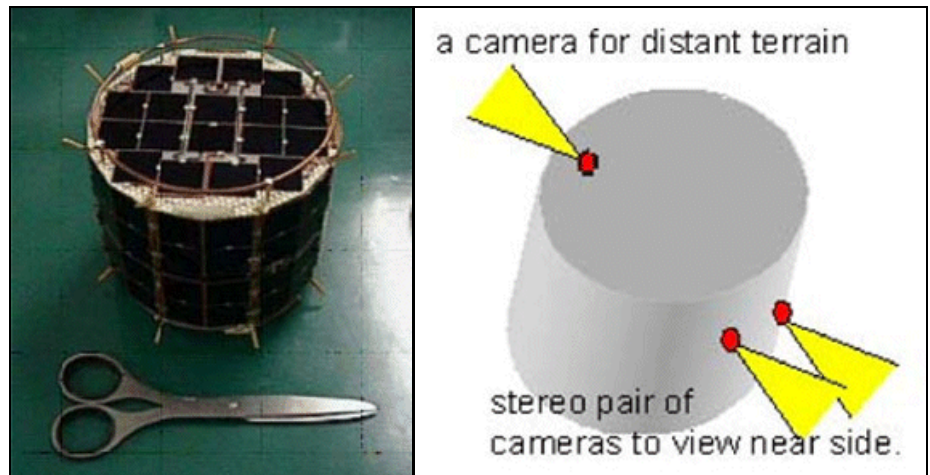
meter über der Oberfläche praktisch zum Stillstand.

Aufgrund der verschiedenen Aufnahmen der Asteroiden-Oberfläche konnte bis 10. Oktober ein 3-D-Modell von Itokawa errechnet werden. Da inzwischen zwei Gyroskope am 31. Juli und 3. Oktober ausgefallen waren, mußte die Lageregelungs-Software optimiert werden, um Treibstoff einzusparen.

Anfang November hatte Hayabusa dann eine Rundreise um den Asteroiden abgeschlossen. Für die Erkundung der Polregion wurde sogar die Ebene der Ekliptik verlassen. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte die Bordkamera bereits 1.500 Bilder aufgenommen, der Infrarot-Spektrometer über 75.000 Messungen und der Laser-Entfernungsmesser sogar 1,4 Millionen durchgeführt sowie der Röntgen-Spektrograph über 700 Stunden lang Signale empfangen und integriert. In geologischer Hinsicht hatte der Asteroid für Überraschung gesorgt. Bisher war angenommen worden, daß derartige Kleinplaneten eine eher homogene Oberfläche aufweisen. Nun zeigte sich, daß Itokawa eine große Anzahl an verschiedenen geologischen Merkmalen zeigte und reich gegliedert war. Aufgrund einiger blanker Oberflächenregionen, die nicht von Regolith bedeckt waren, konnte auch die ursprüngliche Asteroiden-Oberfläche



Künstlerische Darstellung: Hayabusa im Lande-Anflug auf Itokawa. Grafik: ISAS



Der kleine Spring-Roboter MINERVA für die Oberflächen-Erkundung mit einer Stereo-Kamera und einer Kamera für größere Distanzen. Aufgrund von Problemen bei der zweiten Landung kam er nicht zum Einsatz. Foto: ISAS

untersucht werden. Darin unterschied sich dieser erdnahe Asteroid von anderen bisher von Raumsonden besuchten Kleinplaneten, die üblicherweise von einer dicken Regolithschicht bedeckt waren. Die gewonnenen Daten wurden auch für die Auswahl der Landeplätze für die Proben-Entnahme verwendet.

Aufgrund der Messungen konnte auch die Dichte bestimmt werden. Mit etwa $2,3 \pm 0,3$ g/ccm ist diese etwas geringer als für Felsen auf der Erde und deutet auf eine erhöhte Porosität des Gesteins hin. Da der Zusammenhalt dann relativ gering ist, kann man auch von einem „fliegenden Schutthaufen“ sprechen.

Am 4. November 2005 wurde die erste Landung versucht. Bis zu einer Entfernung von 700 Metern arbeitete das autonome Navigations-System ordnungsgemäß. Dann wurde eine Anomalität gemeldet und das Annäherungsmanöver durch ein Kommando der Bodenkontrolle abgebrochen. Einige Tage später am 9. November führte ein erfolgreicher Annäherungstest bis auf 70 Metern an die Oberfläche heran. Am 19. November wurde dann mit der eigentlichen ersten Landung begonnen und am 20. November erfolgte dann die Bodenberührung. Dabei ergab sich eine Abweichung von etwa 30 Metern vom geplanten Aufsetzpunkt. Kurz vor dem Touch-Down war der Zielmarker abgeworfen worden. In diesem Marker

waren die Namen von über 880.000 Menschen aus 149 Ländern eingraviert worden unter dem Motto: „Kommt mit zu einem Treffen mit dem kleinen Prinzen!“. Nach dem ersten Bodenkontakt kam es scheinbar zu einem zweimaligen „Hüpfen“ der Raumsonde auf der Oberfläche. Nach etwa 30 Minuten auf der Oberfläche wurde vom Boden aus der Befehl zum erneuten Abheben gegeben. Aufgrund verschiedener Kommunikations- und Sensor-Probleme bzw. Widersprüchen zwischen der autonomen Navigations-Software und den Bodenkommandos bei diesem Lande-Vorgang blieb die Sonde dann für etwa zwei Tage in einem Sicherheitsmodus, bevor sie wieder reaktiviert werden konnte.

Am 26. November 2006 gelang dann nach einer Schwebephase eine Landung auf Itokawa samt Probenentnahme. Auch diesmal war vor dem Aufsetzen ein Target-Marker abgeworfen worden. Für die Gewinnung der Materialproben waren vor dem eigentlichen Aufsetzen zwei Geschosse abgefeuert worden, um entsprechendes Oberflächenmaterial aufzuwirbeln. Nach dem Wiederaufstieg ging Hayabusa auch diesmal für einige Tage in einen Sicherheitsmodus.

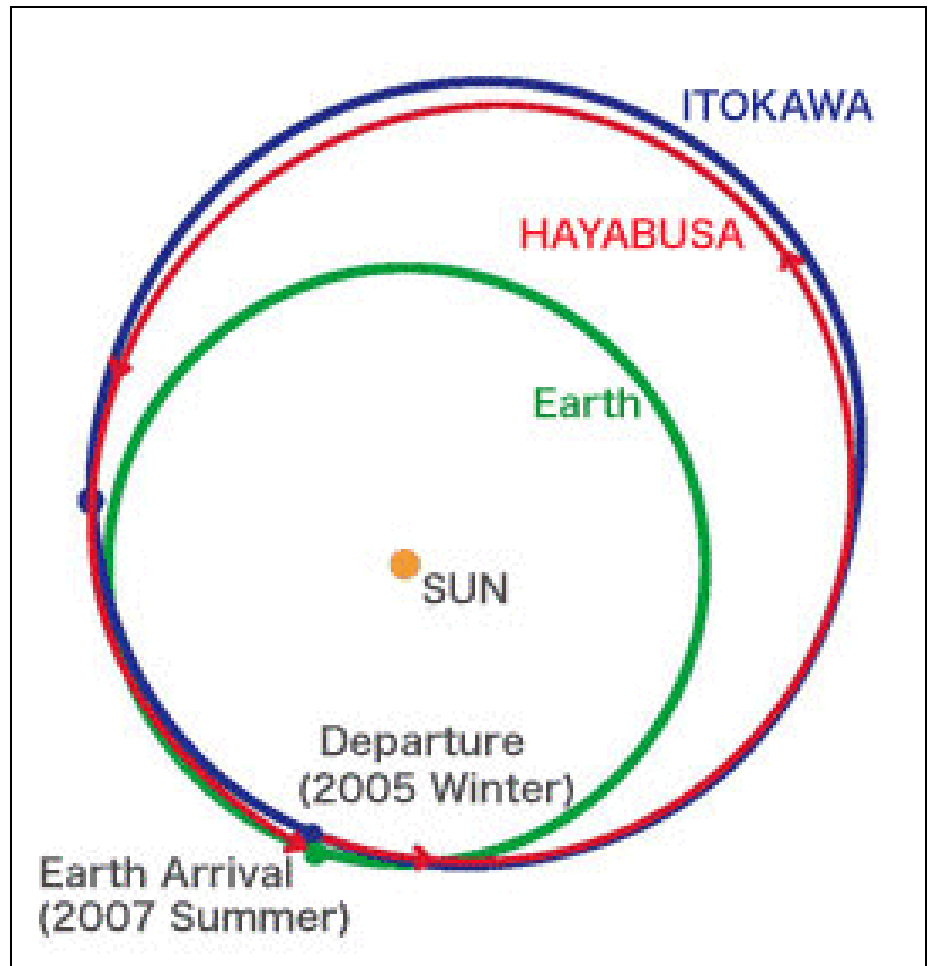
In diesem Fall war es aber nicht so leicht, die Kontrolle wiederzuerlangen. Insbesondere gelang es nicht, das chemische oder das elektrische Triebwerk zu starten. Vermutlich

war es zu einem Treibstoffleck und darauffolgenden Ausgasungen gekommen und damit war der Raumflugkörper ins Taumeln geraten. Daraus folgend wurde auch die Kommunikation mit der Erde zeitweise unterbrochen.

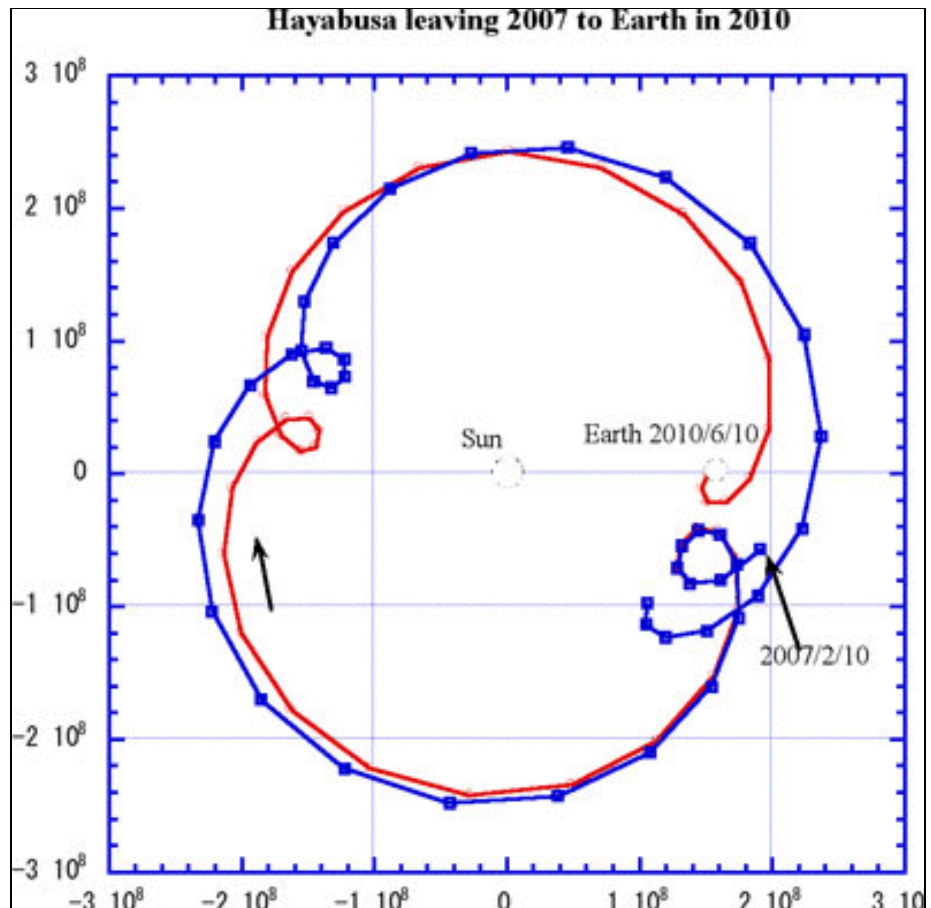
Erst am 26. Jänner 2006 konnte diese wieder aufgenommen werden. Dabei wurde festgestellt, daß aufgrund des unkontrollierten Flugzustandes auch die Stromversorgung an Bord zusammengebrochen war, da die Solarzellen nicht mehr auf die Sonne ausgerichtet waren. In weiterer Folge waren auch die Batterien funktionsunfähig geworden. Durch Software-Uploades gelang es ab Februar 2006, das verbliebene Xenon-Gas für die Lagestabilisierung einzusetzen. Dadurch konnte in weiterer Folge auch die Kommunikation stabilisiert werden, da die Antennen nun besser auf die Erde ausgerichtet wurden.

Um ein weiteres unkontrolliertes Ausgasen von Treibstoffresten zu verhindern, wurde die Sonde durch die an Bord vorhandenen Heizelemente einige Male erhitzt, um eventuell vorhandene Reste kontrolliert ausgasen. Für diese Operationen wurde ein Zeitraum von mehreren Monaten angesetzt. Dadurch ergab sich ein neuer Kurs zurück zur Erde. Die Ionentriebwerke sollen danach erst 2007 wieder gestartet werden und Hayabusa bis 2010 heim bringen. Derzeit befinden sich noch ca. 42 bis 44 Kilogramm Xenon an Bord. Im Zeitraum April/Mai 2006 konnten zwei der Ionentriebwerke erfolgreich getestet werden. Damit sollte die Rückkehr möglich sein, während eines der beiden anderen Triebwerke später getestet wird und das vierte in Reserve bleibt.

EF, Quelle: ISAS-Homepage



Die ursprüngliche Rückreise von Hayabusa zur Erde. Grafik: ISAS



Die neue Bahn von Hayabusa zurück zur Erde. Grafik: ISAS