

W I S wissenschaft
in die schulen!

Die Beute des Wanderfalken

Staub vom Asteroiden Itokawa ist nun analysiert

Die japanische Raumsonde Hayabusa, Wanderfalke, brachte im Juni 2010 die ersten Staubproben eines Asteroiden zur Erde. Nun liegen die Analyseergebnisse vor. Sie belegen, dass der Kleinplanet Itokawa einer der Mutterkörper der am häufigsten auf der Erde gefundenen Meteoriten ist: den gewöhnlichen Chondriten.

Von Harald Krüger

IN KÜRZE

- Der von zahlreichen technischen Pannen geplagte Flug der Raumsonde Hayabusa zum Planetoiden Itokawa endete erfolgreich mit der weichen Landung der Rückkehrkapsel im Juni 2010.
- Die von Hayabusa mitgebrachten winzigen Gesteinsproben entsprechen der Meteoritenklasse der gewöhnlichen Chondriten.
- Mit dem Gesteinsmaterial von Itokawa ließ sich erstmals ein Mutterkörper der gewöhnlichen Chondriten sicher identifizieren.

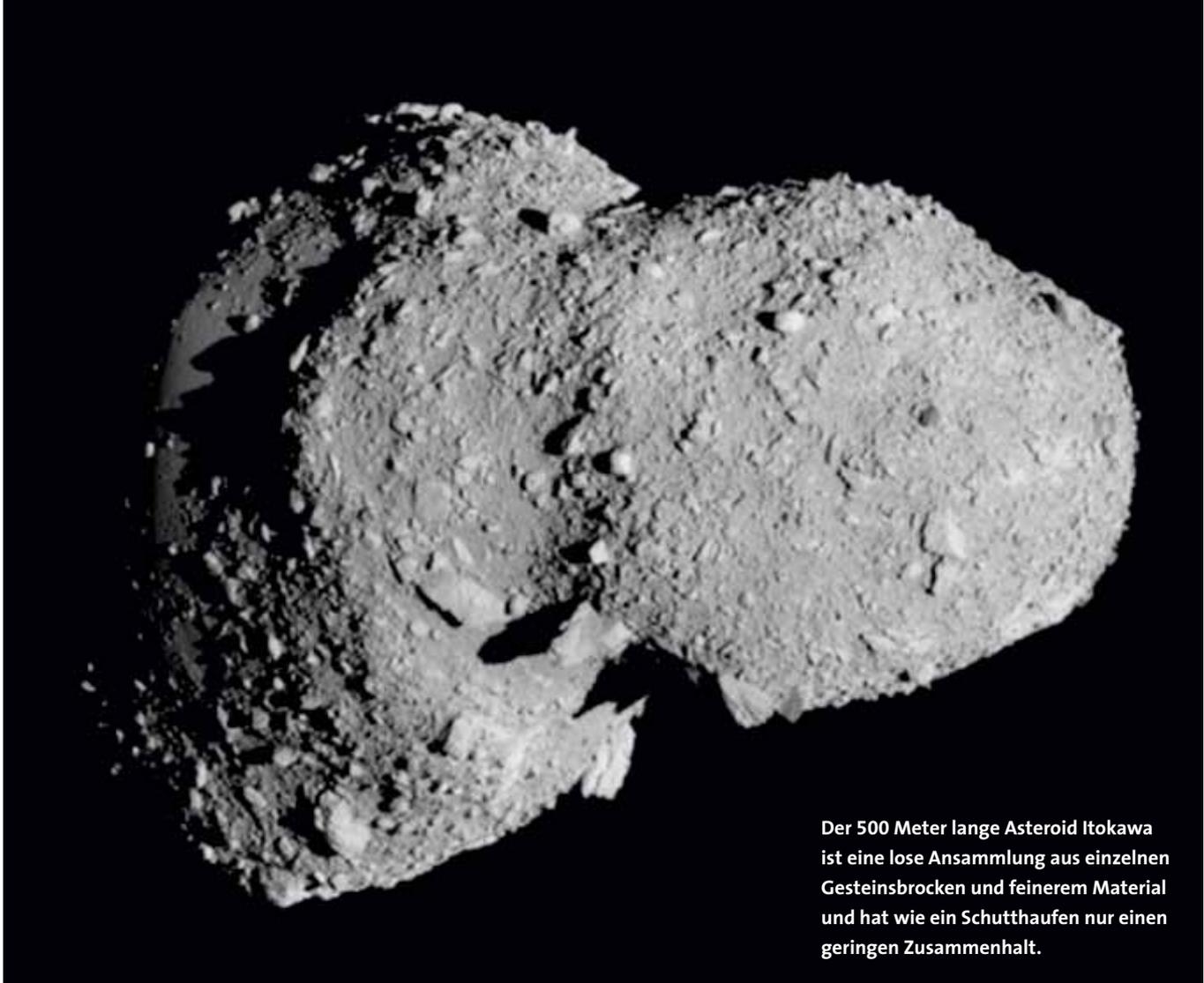
Der allergrößte Teil der mehrere zehntausend Meteoriten, die in irdischen Sammlung aufbewahrt werden, stammt von den Planetoiden. Diese Kleinkörper umrunden die Sonne überwiegend zwischen Mars und Jupiter. Ihre Bahnen können jedoch durch die Schwerefelder der großen Planeten, durch thermische Effekte und durch gegenseitige Kollisionen so stark verändert werden, dass sie das innere Sonnensystem erreichen und die Erdbahn kreuzen. Diese erdnahen Asteroiden lassen sich mit vergleichsweise geringem Energieaufwand mit Raumsonden von der Erde aus anfliegen.

Ein solcher Himmelskörper ist der nur etwa 500 Meter große Asteroid (25143) Itokawa, der als Ziel für die japanische Raumsonde Hayabusa (japanisch: Wanderfalke) ausgewählt worden war. Von allen Objekten, die bisher von irdischen Sonden untersucht wurden, ist er das kleinste. Ursprünglich war die Mission als reiner Testflug konzipiert, um verschiedene Technologien im Weltraum zu erproben. Im weiteren Verlauf der Mission rückte dann

aber die wissenschaftliche Erkundung von Itokawa in den Vordergrund. Die wichtigste Aufgabe war dabei die Entnahme von Gesteinsmaterial von der Oberfläche und der anschließende Transport zur Erde.

Hayabusa wurde im Mai 2003 gestartet und erreichte Itokawa nach gut zwei Jahren Flug im September 2005. Zunächst untersuchte sie den Kleinplaneten aus der Nähe, wobei sie sich in einem Bereich von 7 bis 20 Kilometern über seiner Oberfläche aufhielt. Unter anderem kartierte sie in dieser Flugphase die Oberfläche und suchte nach einem geeigneten Platz für die Probenentnahme. Außerdem vermaß die Sonde die räumliche Gestalt des Kleinkörpers.

Die zur Erde übertragenen Bilder zeigen einen länglichen, hantelähnlichen Himmelskörper, der kaum Krater aufweist. Es lassen sich zwei grundsätzlich verschiedene Gebiete auf seiner Oberfläche unterscheiden. An den Enden der Hantel befinden sich jeweils viele Gesteinsbrocken bis hin zur Größe von Einfamilienhäusern, während die Regionen in der Mitte, die etwa 20 Prozent der Gesamtoberfläche aus-



Der 500 Meter lange Asteroid Itokawa ist eine lose Ansammlung aus einzelnen Gesteinsbrocken und feinerem Material und hat wie ein Schutthaufen nur einen geringen Zusammenhalt.

JAXA

machen, von einer wahrscheinlich mehrere Meter dicken Schicht aus millimeter- bis zentimetergroßen Gesteinspartikeln bedeckt sind (siehe Bild oben). Die mittleren Regionen erscheinen dadurch sehr glatt (siehe SuW 12/2006, S. 26). Die Dichte von Itokawa beträgt 1,95 Gramm pro Kubikzentimeter, was etwa derjenigen von losem Sand entspricht. Sie ist deutlich geringer als bei einem kompakten Gesteinsbrocken. Offenbar ist Itokawa ein poröser Himmelskörper, der einem lose zusammenhängenden Schutthaufen vergleichbar ist. Interessanterweise ähnelt die Form von Itokawa dem Kern des Kometen Hartley 2 (siehe SuW 10/2011, S. 30). In ihrer Zusammensetzung unterscheiden sich beide jedoch grundlegend, da der Schweifstern im Gegensatz zu Itokawa überwiegend aus Wassereis besteht und eine noch wesentlich geringere Dichte aufweist.

Nachdem die Missionskontrolleure der japanischen Raumfahrtbehörde JAXA einen geeigneten Platz für die Probenentnahme gefunden hatten, flog die Sonde zweimal unmittelbar an die Oberfläche von Itokawa heran. Ein trichterförmiges

Auffangrohr hatte dabei Bodenkontakt (siehe Bild auf S. 46). Für die eigentliche Probenahme war vorgesehen, dass ein im Auffangrohr abgeschossenes Projektil beim Aufprall Staubpartikel von der Oberfläche freisetzt, die anschließend in einen Probenbehälter gelangen sollten. Der Mechanismus versagte jedoch beide Male und es war unklar, ob sich nun überhaupt Staub im Probengefäß befand. Dies war nur eines von mehreren gravierenden technischen Problemen, mit denen die Missionskontrolleure zu kämpfen hatten. So ging ein mitgeführtes Landegerät bei der Annäherung verloren, und auch die Rückkehr der Sonde zur Erde dauerte wegen fehlerhafter Antriebs- und Computersysteme erheblich länger als geplant.

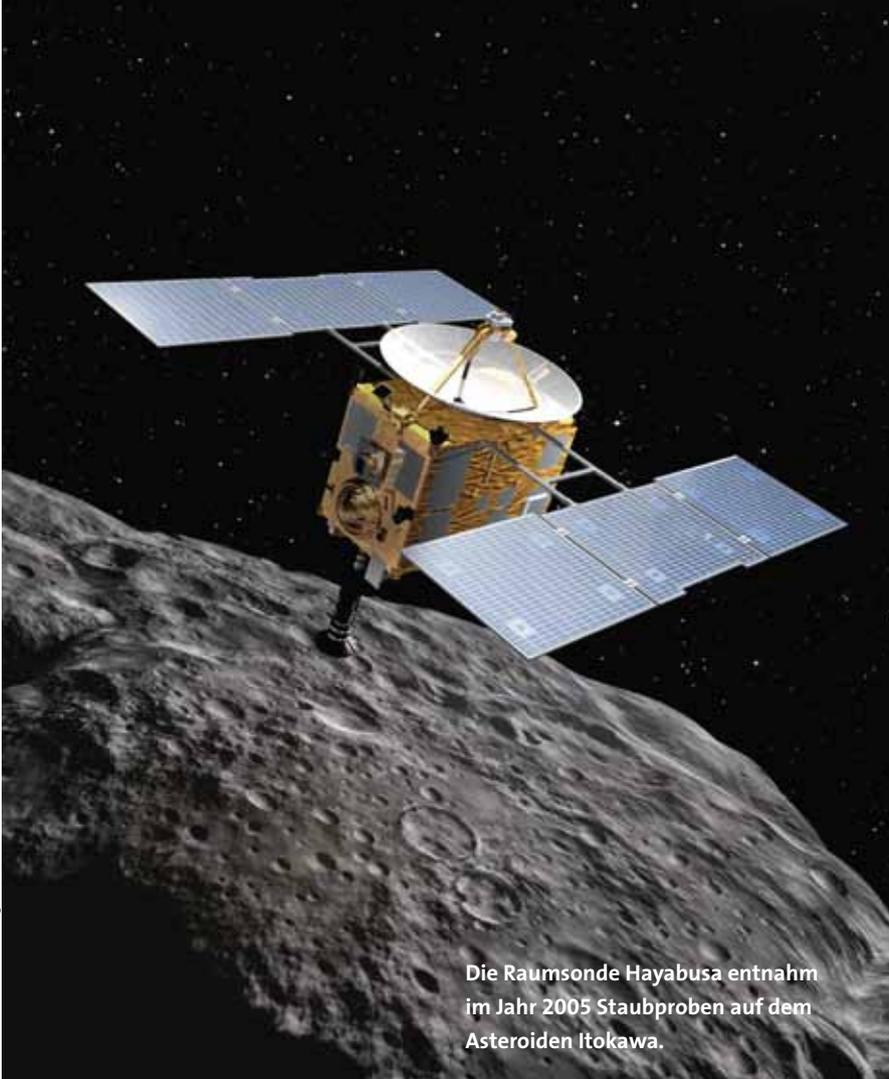
Ein erstes Rückkehrfenster im Dezember 2005 verstrich wegen Kommunikationsproblemen ungenutzt, so dass sich Hayabusa erst im April 2007 auf den Rückweg zu unserem Heimatplaneten machen konnte, wo sie drei Jahre später, im Juni 2010, eintraf. Eine Atmosphären-Eintrittskapsel mit dem Probenbehälter wurde von der Raumsonde abgetrennt

und landete unbeschadet in der australischen Wüste. Mit Spannung erwarteten nun die Planetenforscher das Öffnen des Behälters. Und – siehe da – er enthielt tatsächlich winzige Mengen an Staub. Bisher wurden mehr als 1500 Staubkörnchen aus dem Probenbehälter extrahiert, die größten von ihnen sind rund 0,2 Millimeter groß. Die meisten Partikel sind jedoch kleiner als ein zwanzigstel Millimeter, was etwa der Dicke eines menschlichen Haars entspricht.

Ist es wirklich Asteroidenstaub?

Zunächst gab es Zweifel, ob es sich wirklich um Partikel von der Oberfläche des Asteroiden handelte. Es hätten auch von der Erde mitgeschleppte Verunreinigungen sein können, oder sie hätten bei der Landung in Australien eingedrungen sein können. Wie ließ sich nun herausfinden, ob die Staubkörner wirklich von Itokawa stammten?

Um diese Frage zu klären, wurden die Häufigkeiten unterschiedlich schwerer Sauerstoffatome mittels Massenspektrometrie untersucht. Sauerstoff besteht



Die Raumsonde Hayabusa entnahm im Jahr 2005 Staubproben auf dem Asteroiden Itokawa.

wie viele andere chemische Elemente aus einer Mischung unterschiedlich schwerer Atome, den Isotopen. Zusätzlich zu dem Isotop mit der Masse 16, das weitaus am häufigsten auf der Erde vorkommt, gibt es auch noch zwei schwerere Isotope mit den Massen 17 und 18. Während Sauerstoff-16 acht Protonen und acht Neutronen und damit 16 Kernbausteine enthält, weisen die beiden schwereren Isotope ein beziehungsweise zwei zusätzliche Neutronen auf. Ihre Kernmassen betragen daher 17 und 18 atomare Masseneinheiten.

Sauerstoffisotope belegen extraterrestrischen Ursprung

Entscheidend ist nun, dass diese Isotope in allen irdischen Materialien in festen Häufigkeitsverhältnissen vorkommen, die kaum variieren. In Meteoriten und im Mondgestein haben diese Isotope jedoch andere Häufigkeiten, die sich klar von den irdischen Werten unterscheiden. Die Laboruntersuchungen der aus dem Probenbehälter von Hayabusa extrahierten Teilchen zeigen eindeutig nichtirdische Häufigkeiten der Sauerstoffisotope. Obwohl der Schussmechanismus versagt hatte, wurde demnach allein durch das

sanfte Aufsetzen des trichterförmigen Auffangrohrs auf der Asteroidenoberfläche eine winzige Menge von Gesteinsmaterial freigesetzt, die in das Probengefäß gelangen konnte.

Was lernen wir aus der Untersuchung der Staubkörnchen? Ein Vergleich der Isotopenhäufigkeiten von Itokawa mit den Werten verschiedener Meteoritentypen ergibt eine sehr gute Übereinstimmung mit einer Untergruppe der am häufigsten auf der Erde gefundenen silikatreichen Meteorite. Es sind die so genannten gewöhnlichen LL-Chondriten (LL steht dabei für Low metal, Low iron; also metall- und eisenarm). Auch die weiteren chemischen Eigenschaften des Probenmaterials stimmen gut mit denjenigen dieser Meteoriten überein. Der Asteroid Itokawa ist offenbar einer der Mutterkörper jener Meteoritengruppe.

Seit Langem versuchen die Planetenforscher die verschiedenen auf der Erde gefundenen Typen von Meteoriten einzelnen Klassen von Ursprungskörpern im Asteroidengürtel zuzuordnen. Dabei sind besonders die spektroskopischen Eigenschaften des von ihrer Oberfläche reflektierten Sonnenlichts entscheidend. Nur dadurch lassen sich mittels erdgebundener Beobach-

tungen wesentliche Informationen über ihre Oberflächenzusammensetzungen ableiten. Schon früher wurde Itokawa von den Astronomen als Asteroid vom Typ S eingestuft, das heißt, er sollte an seiner Oberfläche viele silikatreiche Minerale enthalten. Durch die Laboruntersuchungen an den Proben von Itokawa ließ sich diese Zuordnung nun für einen Asteroiden erstmals direkt bestätigen.

Viele der mehr als 1500 untersuchten Körner bestehen aus Kristallen unterschiedlicher Minerale, die eine ähnliche Zusammensetzung aufweisen wie die Minerale in den gewöhnlichen Chondriten, was im Einklang mit den Ergebnissen der Isotopenmessungen steht. Mittels Röntgenanalytik und Rasterelektronenmikroskopie gewonnene Daten zeigen, dass die meisten Mineralkörner aus den auch auf der Erde sehr häufig vorkommenden Silikatmineralen Olivin, Pyroxen und Feldspat bestehen. Sie bauen beispielsweise die irdischen Basalte auf. In geringen Mengen finden sich zudem Eisensulfid, Eisen-Chrom-Oxid, Kalziumphosphat und metallisches Eisen-Nickel. Etwa zwei Drittel der Teilchen bestehen aus nur je einem Mineral, während der Rest aus zwei oder mehr Mineralen aufgebaut ist. Die scharfkantige Form der Körner deutet darauf hin, dass es sich überwiegend um Bruchstücke größerer Gesteinsbrocken handelt (siehe Bild auf S. 48).

Itokawa ist ein Überbleibsel

Durch die Untersuchungen lässt sich nun die geologische Geschichte von Itokawa in groben Zügen verstehen. So liefern die chemische und die mineralische Zusammensetzung Hinweise auf die thermische Entwicklung dieses Kleinkörpers. Demnach war das am stärksten erwärmte Material einer Temperatur von etwa 800 Grad Celsius ausgesetzt. Die Forscher um Akira Tsuchiyama von der Osaka University geben eine Abkühlungsrate von etwa einem halben Grad pro 1000 Jahre bei einer Starttemperatur von 600 Grad Celsius an. Daraus folgt, dass sich das zur Erde gebrachte Probenmaterial früher in einem Himmelskörper von rund 20 Kilometern Durchmesser befunden haben muss – denn nur Objekte, die mindestens diese Größe haben, weisen derart langsame Abkühlungsraten auf. Itokawa war also einmal Teil eines größeren Himmelskörpers. Sein Gesteinsmaterial wurde stark durch thermische Prozesse verändert und

zerbrach durch ein oder mehrere Einschlagereignisse in eine Vielzahl kleinerer Bruchstücke. Einige dieser Fragmente fanden sich später zum Asteroiden Itokawa zusammen.

Die Forscher um Keisuke Nagao an der University of Tokyo rekonstruierten zudem, wie lange sich die Staubpartikel an der Oberfläche des Asteroiden befanden. Hierzu maßen sie die Häufigkeiten der Edelgase Helium, Neon und Argon in den Proben. Die Wissenschaftler konnten zwei Komponenten dieser Edelgasatome unterscheiden: eine niederenergetische, aus dem Sonnenwind stammende, und so genannte kosmische Teilchen mit wesentlich höheren Energien, die aus dem interstellaren Raum zu uns stoßen. Treffen jene Teilchen auf festes Material, so dringen sie je nach ihrer Energie unterschiedlich tief darin ein und bleiben dort stecken. Da die Energien und Eindringtiefen dieser Atome recht gut bekannt sind, lässt sich aus ihren Konzentrationen ableiten, über welche Zeiträume hinweg die Mineralkörner diesem Bombardement von energetischen Teilchen ausgesetzt waren und wie nahe sie sich an der Oberfläche befanden.

Es ergeben sich erstaunlich kurze Zeiträume von maximal acht Millionen Jahren, während derer sich die Teilchen nur wenige Zentimeter unterhalb der Oberfläche befunden haben müssen. Direkt an der Oberfläche oder nur knapp darunter waren sie vermutlich nur 100 bis 1000 Jahre. Offenbar verliert Itokawa ständig Material in den Weltraum, wofür eine Verlustrate von einigen zehn Zentimetern Oberflächenmaterial pro Million Jahre abgeleitet wird. Setzt man dies ins Verhältnis zur Größe des Asteroiden, so ergibt sich eine Überlebenszeit, die interessanterweise wesentlich kürzer ist als das Alter des Sonnensystems von 4,6 Milliarden Jahren. Danach würde sich Itokawa nach mehreren hundert Millionen bis maximal einer Milliarde Jahren komplett auflösen. Sehr wahrscheinlich wird er jedoch wesentlich früher ein ganz anderes Schicksal erleiden.

Auf Kollisionskurs?

Hinweise für häufige Oberflächenveränderungen auf Itokawa gibt es nämlich auch von anderer Seite. Berechnungen seiner Flugbahn zeigen, dass dieser rund 500 Meter große Himmelskörper bei



JAXA

Die Bergung der Rückkehrkapsel von Hayabusa nach der Landung in Australien musste mit Vorsicht erfolgen, da in ihr noch pyrotechnische Systeme aktiv waren. Hier entschärft ein Techniker der JAXA im Splitterschutzanzug die kleinen Sprengladungen.

Teleskopsteuerung LFE Photo



- Features:
- Goto, Encoder
 - USB, Ethernet
 - Motorfokus
 - DSLR Control
 - ST4, RTC
 - und vieles mehr

10 % SuW Rabatt im Onlineshop
Code: pI&vv-N7!s4Jk+zh
(1x pro Kunde, gültig bis 30.11.2013)

Große Auswahl an Zubehör:

- z.B.: Motorsets, Dachsteuerung,
GPS Maus, Netzteile,
Tiny Interface, Motorkabel,
DSLR - Kabel, SD Karte, u.s.w.



G11 Motorset für schnelles Goto
WLAN für kabellose Steuerung
Spacer für große Schwenkfreiheit

Fragen Sie auch nach kompletten Umbaukits für G11, EQ6, EQ5, GP-DX usw., sowie fertige Komplettsets für Einsteiger und Fortgeschrittene.

www.teleskopsteuerung.de

Computer
Höll + Sehn GmbH
Kirchbergstrasse 34
66773 Schwalbach
06834 - 9569902



info@teleskopsteuerung.de



Mit einem Rasterelektronenmikroskop wurde ein Staubkörnchen von Itokawa aufgenommen. Es besteht aus mehreren Mineralen, und sein Durchmesser beträgt etwa 150 Mikrometer.

seinem Umlauf um die Sonne den terrestrischen Planeten des Sonnensystems oft sehr nahe kommt: Er wird wahrscheinlich innerhalb der nächsten Million Jahre mit der Erde, Mars oder Venus kollidieren. Auch wenn sich keine Kollision ereignet, kann die Schwerkraft der Planeten bei sehr dichten Vorbeiflügen zu Vibrationen und Verschiebungen von Material auf diesem fliegenden Schutthaufen führen. Da das Material auf der Oberfläche durch seine geringe Schwerkraft nur locker gebunden ist, kann er so auch Gestein in den Weltraum

verlieren. Interessanterweise beobachtete man auf der Erde mehrere helle Meteore, so genannte Feuerkugeln, die von Itokawa stammen könnten, was ein weiterer Beleg für Materialverlust von seiner Oberfläche ist. All diese Effekte führen zu relativ schnellen Oberflächenveränderungen.

Zur Freisetzung von kleinen Partikeln in den Weltraum könnte zudem ein weiterer Prozess beitragen, der bisher hauptsächlich auf dem Erdmond genauer untersucht wurde. Dort wurde schon in den 1960er Jahren von verschiedenen Weltraummissionen Staub nahe der Oberfläche beobachtet, der von der Mondoberfläche selbst stammen musste. Die Staubpartikel werden durch die geladenen Teilchen im Plasma des Sonnenwinds und die Ultraviolettstrahlung der Sonne elektrisch aufgeladen. Je nachdem, welcher dieser beiden Mechanismen überwiegt, sind die Teilchen positiv oder negativ geladen. Da sich Partikel, welche die gleiche elektrische Ladung besitzen, gegenseitig abstoßen, können sie von der Oberfläche abheben und bilden dicht darüber eine dünne Staubwolke. Jener Effekt funktioniert allerdings nur auf Himmelskörpern, die keine schützende Atmosphäre besitzen. Das Schwerefeld von Itokawa ist so gering, dass die schwebenden Teilchen sogar direkt in den Weltraum entweichen

können. Für Kleinkörper dieser Größe wurde dieser elektrostatische Effekt bisher jedoch noch wenig untersucht.

Die Analyseergebnisse des von Hayabusa zur Erde gebrachten Probenmaterials stehen im Einklang mit den derzeitigen Theorien über die Entstehung des Sonnensystems. Demnach bildeten sich die Sonne und die Planeten vor 4,567 Milliarden Jahren aus einer in sich zusammenfallenden interstellaren Wolke aus

Die Messergebnisse der Itokawa-Proben passen zu den Theorien über die Entstehung des Sonnensystems.

Gas und Staub (siehe SuW 9/2012, S. 46). Die Planetoiden sind nach heutigem Kenntnisstand Überreste aus der Entstehungsphase des Sonnensystems, als sich zwischen Mars und Jupiter kein weiterer Planet bilden konnte.

Bisher wurden die Proben von Itokawa überwiegend von japanischen Forschergruppen untersucht. Sie hatten dieses Vorrecht, weil es sich bei Hayabusa um eine rein japanische Mission handelte. Seit Kurzem können sich Forscher aus aller Welt bewerben, um Probenmaterial für eigene Analysen zu bekommen. Wir dürfen gespannt sein, welche weiteren interessanten Ergebnisse jene Untersuchungen liefern werden.

Der Nachfolger: Hayabusa 2

Hayabusa war trotz zahlreicher technischer Probleme sehr erfolgreich. Die japanische Weltraumbehörde JAXA plant deshalb einen wesentlich anspruchsvolleren Nachfolger zum bisher namenlosen erdnahen Asteroiden (162173) 1999 JU3. Bei dem bisher noch als Hayabusa 2 bezeichneten Projekt mit intensiver internationaler Beteiligung steht von Anfang an die wissenschaftliche Untersuchung des Zielobjekts im Vordergrund. Es ist im Gegensatz zu Itokawa nahezu kugelförmig und mit einem Durchmes-

ser von etwa 900 Metern fast doppelt so groß. Seine Oberflächenbeschaffenheit könnte derjenigen von Itokawa ähneln. 1999 JU3 ist ein Kleinplanet des C-Typs. Solche Himmelskörper reflektieren nur etwa sieben Prozent des einfallenden Sonnenlichts und ähneln in ihren Eigenschaften den Meteoriten der Klasse der kohligen Chondriten. Diese gehören – ähnlich wie die Kometen – zum ertümlichsten Material, das wir in unserem Planetensystem kennen.

Hayabusa 2 soll im Jahr 2014 starten und 2018 ihr Ziel erreichen. Die Untersuchung des Kleinplaneten einschließlich einer Probenentnahme ist auf etwa anderthalb Jahre angesetzt. Die Sonde wird auch ein aus Deutschland stammendes Landegerät und ein französisches Fahrzeug, einen Rover, mitführen, welche die Oberfläche des Planetoiden direkt erkunden. Um an frisches Material von unterhalb der Oberfläche für die Probenentnahme zu gelangen, soll ein Impaktor durch einen harten Aufprall einen kleinen Krater erzeugen. Dort wird die Sonde dann niedergehen und mit einem gegenüber ihrem Vorgänger modifizierten Sammelmechanismus Gesteinsmaterial aufnehmen. Für das Jahr 2020 ist ihre Rückkehr zur Erde geplant. Die Untersuchungen von Proben dieses sehr ertümlichen Kleinkörpers lassen neue Einblicke in die Entstehung unseres Planetensystems erwarten.



HARALD KRÜGER arbeitet am Max-Planck-Institut für Sonnensystemforschung in Katlenburg-Lindau. Seine Hauptarbeitsgebiete sind die Erforschung von Kometen und von kosmischem Staub. Er ist an der Entwicklung von zwei Staubmessinstrumenten der Rosetta-Mission beteiligt.

Literaturhinweise

Müller, T.: Ein Kleinplanet unter der Lupe. In: *Sterne und Weltraum* 12/2006, S. 26–34

div. Autoren: Schwerpunktheft mit sechs Beiträgen zu den Untersuchungen der Staubpartikel von Itokawa: *Science* 333, 1113–1131, 2011.

Deutschlands erstes digitales, wöchentliches Wissenschaftsmagazin



Jetzt jeden Donnerstag

- mit mehr als 40 Seiten Hintergründen, News, Kommentaren und Bildern aus der Forschung
- im Abo nur 0,77 € pro Ausgabe
- jederzeit kündbar



Infos und Bestellmöglichkeit:

www.spektrum.de/testwoche