

BLICK IN DEN KOMETEN

Die Raumsonde »Deep Impact« soll erstmals das eisige Innere eines Kometen freilegen und Fotos von seinem Kern aufnehmen. >> Elizabeth Warner und Greg Redfern

Die 267 Millionen Dollar teure Deep-Impact-Mission wird die bislang detailreichsten Bilder eines Kometenkerns liefern.



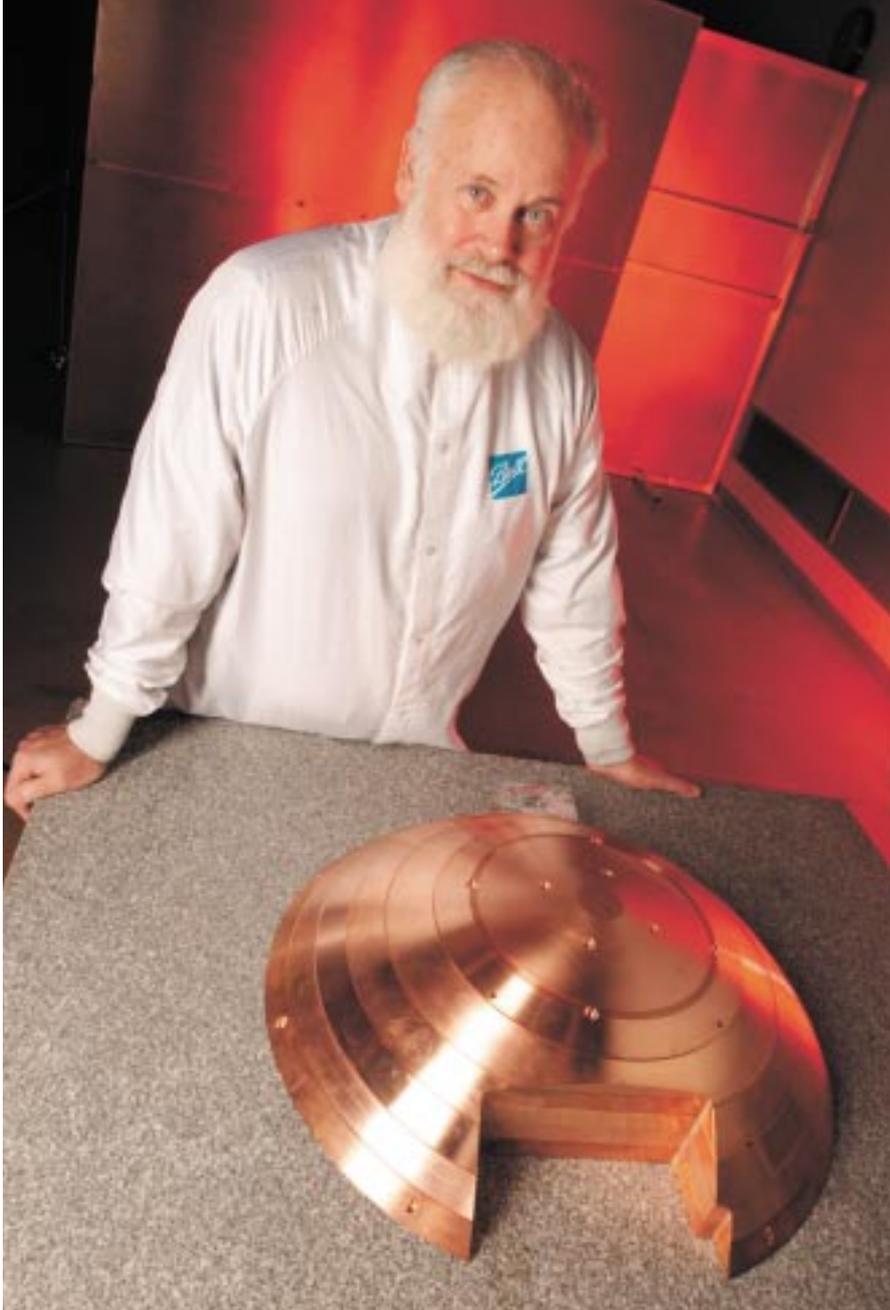
Während die Amerikaner in der Nacht zum 4. Juli den Feiern zum Unabhängigkeitstag entgegenschlummern, zündet die Nasa ein himmlisches Feuerwerk, wie es die Welt noch nicht gesehen hat. Ihre Raumsonde »Deep Impact« wird ein 372 Kilogramm schweres Geschoss ausklinken – den Impaktor – und auf den Kometen 9P/Tempel 1 lenken. Das Projektil wird nach kurzem Flug mit rasanten 37000 Kilometern pro Stunde auf der Tagseite des Kometen einschlagen. Die Aufprallenergie entspricht einer Sprengkraft von fast fünf Tonnen TNT und könnte den Himmelskörper bis zu fünfzig Meter tief aufreißen.

Die Sonde selbst kann das Spektakel von einem Logenplatz aus verfolgen. Zum Zeitpunkt des Aufschlags rast sie in lediglich 500 Kilometer Entfernung am Kometenkern vorbei und verfolgt dreieinhalb Minuten lang die Kollision und ihre Nachwirkungen. Anschließend soll sie weitere zehn Minuten lang in den frischen Krater hineinspähen, bis sie sich so weit entfernt hat, dass das Einschlaggebiet aus ihrem Blickfeld gerät. Sie funkt ihre Messdaten zur Erde, genau wie der Impaktor, der eine eigene Sendeanlage an Bord hat. Die Antennen des Deep-Space-Networks in Kalifornien und Australien haben die Aufgabe, den Datenstrom aufzufangen.

Im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit

Auch die Weltraumteleskope Hubble, Chandra, Spitzer und XMM-Newton sollen ihren Blick auf das Ereignis richten. Vom Boden aus werden sowohl Profis als auch Amateure den Kometen im Visier haben. Es ist wichtig, jede Veränderung vor, bei und nach dem Einschlag zu registrieren. Landet die Sonde einen Volltreffer, dann könnte die Explosionswolke Tempels Helligkeit vervielfachen. War er vorher ein nebliges Objekt neunter oder zehnter Größenklasse, so könnte nach dem Aufprall seine Leuchtkraft durchaus die 6. Größe erreichen.

Die Idee eines künstlich herbeigeführten Aufschlags auf einem Kometen geht auf das Jahr 1996 zurück, als Alan Delamere, damals bei Ball Aerospace, und Michael Belton vom National Optical Astronomy Observatory der Nasa (NOAO) eine entsprechende Mission vorschlugen. Mit von der Partie war Michael A'Hearn von der University of Ma-



BALL AEROSPACE & TECHNOLOGY CORP.

Michael A'Hearn, Deep-Impact-Missionswissenschaftler, posiert hier hinter dem Kratergeschoss – ein 113 Kilogramm schweres Kupfer-Aluminium-Projektil, das einen Einschlagkrater in Tempel 1 reißen soll.

Kometen 81P/Wild 2 vorbei und sammelte Staubproben und Gase aus dessen Hülle (der »Koma«). An Bord einer Rückkehrkapsel soll die kostbare Fracht Anfang 2006 in der Wüste von Utah landen. Die Kameras an Bord der Sonden offenbarten im Innern der Koma kleine, vereiste Kerne mit dunklen und rauen Oberflächen.

Die bisherigen Beobachtungen beschränkten sich notgedrungen auf das Äußere der Kometenkerne. Woraus aber besteht ihr Inneres? Wie ist ihr struktureller Aufbau? Deep Impact wird in mehrfacher Hinsicht zu unserem Verständnis von Kometen beitragen: Durch die Beobachtung des Geschosseinschlags, durch die chemische Analyse der aufgewirbelten Trümmerwolke und der Innenflächen des frisch aufgeworfenen Kraters sowie durch die Untersuchung der Gase, die nach dem Aufprall aus dem Kometen austreten. Diese Messungen werden es endlich erlauben, das Innenleben eines Kometenkerns mit seiner Oberfläche zu vergleichen. Spektroskopische Untersuchungen sollen zum Beispiel zeigen, ob der Kometenkern innen aus Schichten besteht oder ob er einheitlich zusammengesetzt ist.

Bei der Deep-Impact-Mission geht es also um nichts anderes als um die wahre Natur der Kometen. Der Harvard-Astronom Fred Whipple vermutete im Jahr 1950, dass Kometenkerne feste Körper aus gefrorenen Substanzen wie Wasser, Ammoniak, Methan, Kohlendioxid und Kohlenmonoxid sind, vermischt mit Meteoritenstaub. Nähert sich ein solch eisiger Geselle der Sonne, dann heizt ihre Strahlung die gefrorenen Gase auf. Diese verdampfen sofort, bilden die Kometenkoma und in einigen Fällen einen langen, eindrucksvollen Schweif.

Missionsleiter A'Hearn sieht den wichtigsten Beitrag von Deep Impact jedoch woanders: Endlich würden wieder aktive Experimente mit planetaren Körpern aufgegriffen, statt sich nur auf passive Beobachtungen und mikroskopische Analysen zu beschränken. Vergleichba-

ryland. Verschiedene Gründe führten zur Ablehnung des Antrags. Unter anderem hielt die Weltraumbehörde das Zielobjekt, den Himmelskörper 3200 Phaethon, für ungeeignet. Auch wollte niemand so recht glauben, dass das Geschoss den Kometen tatsächlich treffen würde.

Die Forscher ließen sich jedoch nicht beirren und zwei Jahre später versuchte es A'Hearn erneut. Mit einer Reihe von Änderungen am Missionsplan konnten er und sein Team die Nasa überzeugen. Unter anderem sollten die Steuerung und der Antrieb des Impaktors nun komplett automatisiert werden; als Zielkomet war jetzt der aktive kurzperiodische Tempel 1 vorgesehen. Das Geld wurde 1999 bewilligt: 267 Millionen Dollar nach heutigem Stand. A'Hearn wurde zum Chef der Mission ernannt. So viel zur Entstehung des Projekts – aber warum

geben sich die Wissenschaftler einem solchen Unterfangen überhaupt hin? Warum wollen sie einen Kometen unter Beschuss nehmen? Die meisten Forscher nehmen heute an, dass es sich bei diesen Himmelskörpern um gefrorene Überreste aus dem Geburtsnebel unseres Sonnensystems handelt.

Reise in die Vergangenheit

Damit ähneln die Kometen urchinlichen Zeitkapseln, die einzigartige Informationen über die Entstehung des Planetensystems bergen. Durch Beobachtung konnten die Astronomen im Lauf der Jahrhunderte einiges über sie lernen. Anfangs nahmen sie die Schweifsterne nur mit bloßem Auge ins Visier, später mit Teleskopen und schließlich mit unbemannten Raumsonden. Zuletzt raste im Januar 2004 die Nasa-Sonde Stardust am

Wo können irdische Fernrohrbeobachter den besten Blick auf den kommenden Kometen-Crash genießen? Wo werden die Astronomen am 4. Juli wirklich in der ersten Reihe sitzen? Ideal wäre ein Beobachtungsplatz im östlichen Pazifik, aber da die »Explosionswolke« einige Stunden braucht, um sich zu entfalten, und anschließend vermutlich mehrere Tage lang bestehen wird, werden alle Beobachter rund um den Globus nach und nach einen Blick auf die Nachwirkungen des Einschlags erhaschen (siehe »Deep Sky«, S. 44). Die eigentlichen Logenplätze haben die Australier – sie gehören zu den Ersten, die eine ansehnliche Auswurfswolke zu Gesicht bekommen.

Weltweit beteiligen sich etwa hundert Profi-Astronomen an den Beobachtungen, zahlreiche Observatorien rund um den Globus sind am Ball. »Darunter sind viele Wissenschaftler, die vor Jahren schon Shoemaker-Levi beobachtet haben«, erinnert Hans-Ulrich Käufel von der Europäischen Südsternwarte (Eso) an den Sommer 1994, als der zerbrochene Komet in den Jupiter stürzte. Damals hatte wegen der ungünstigen Bedingungen keine Sternwarte den Aufprall direkt im Blick: Das Drama spielte sich auf Jupiters Rückseite ab. Erst als sich der Gasriese weiter drehte, kamen die dunklen Einschlagstellen in Sicht.

Diesmal soll es anders laufen. Geplant ist, dass die Zehn-Meter-Teleskope auf Mauna Kea (Hawaii) den Zusammenprall zwischen Impaktor und Komet in Echtzeit verfolgen. Der Aufschlag wird dort, so Käufel, während der Abenddämmerung stattfinden (5.52 Uhr Weltzeit) und kann etwa drei Stunden lang beobachtet werden.

Danach übernehmen Sternwarten in Japan, Australien und Indien. »Wir bekommen den Kometen von unseren Kollegen auf den Kanarischen Inseln überstellt«, erläutert Käufel. Das wird etwa 13 bis 14 Stunden nach dem Impact sein.

Der Einschlag auf Tempel 1 lässt sich direkt vom östlichen Pazifik aus verfolgen. Die Auswurfswolke braucht allerdings einige Stunden, um sich zu entfalten, und wird vermutlich tagelang bestehen bleiben.

Wir – das sind die chilenischen Eso-Standorte in La Silla und auf dem Cerro Paranal. Noch bevor sich der angeschossene Komet erneut über Nordamerika zeigt, sind die südamerikanischen Eso-Optiken bereits online. Das hat geografische Gründe: Chile liegt nämlich östlich der Vereinigten Staaten.

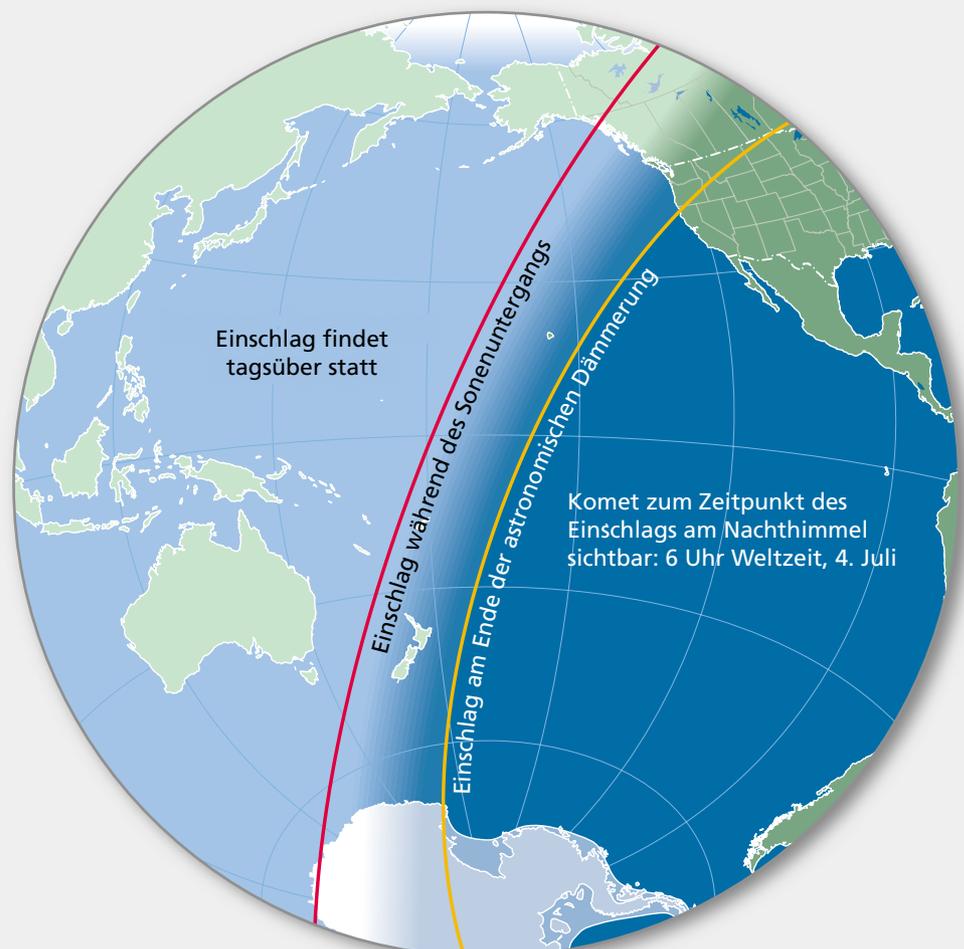
Die europäischen Fernrohre sind in Chile günstig platziert:

Einerseits kommt es sehr selten vor, dass an beiden etwa 500 Kilometer voneinander entfernten Standorten gleichzeitig schlechtes Wetter auftritt. Andererseits ist der für die Forscher spannendste Augenblick wohl nicht der Moment des Einschlags selbst. Käufel: »Die aus der Kollision hervorgehende Wolke wird sich erst zwölf bis achtzehn Stunden nach dem Aufprall voll entwickelt haben. Dafür sprechen Erfahrungen, die wir früher mit auseinander brechenden Kometen gesammelt haben.« Tempel 1 gerät also möglicherweise gerade zum richtigen Zeitpunkt ins Visier der Eso-Teleskope.

»Schon ein bis zwei Stunden vor Sonnenuntergang können wir den Kometen im Infrarotlicht beobachten«, erläutert der Astronom, der die Staubentwicklung des Kometen in diesem Wellenlängenbereich überwachen wird. Bei Einbruch der Nacht setzen dann auch die Beobachtungen im sichtbaren Licht ein. Den Atomen und Molekülen in der Auswurfswolke will man spektroskopisch auf die Schliche kommen.

Die Forscher interessiert etwa, welche Kohlenwasserstoffe sich im Kerninnern verbergen. Sind die flüchtigen Substanzen dort höher konzentriert als an seiner Oberfläche? Findet sich in der Tiefe sogar bislang unentdecktes organisches Material?

Kometenforscher Käufel hat für die einmalige Gelegenheit reichlich Teleskopzeit reserviert: »Unsere Beobachtungen beginnen schon zwei Tage vor dem Einschlag. Danach können wir Tempel 1 bis zu sechs Tage lang observieren – und zwar mit allen Instrumenten der Eso gleichzeitig!« >> Thorsten Dambeck



> res geschah zuletzt in den frühen 1970er Jahren, als Apollo-Astronauten Mondbeben erzeugten und die daraus resultierenden seismischen Erschütterungen untersuchten, um den inneren Aufbau unseres Mondes zu enthüllen.

Breit und flach oder schmal und tief?

Laut A'Hearn ist unser Wissen über die physikalischen Eigenschaften von Kometenkernen noch derart begrenzt, dass jede neue Erkenntnis einen gewaltigen wissenschaftlichen Gewinn darstellt. »In erster Linie interessieren wir uns für die Unterschiede zwischen der Kernoberfläche, die im Lauf von Jahrmilliarden verändert wurde, und dem Innern des Kerns«, erläutert er.

Die Deep-Impact-Spezialisten erwarten einen kreisförmigen Einschlagkrater, wissen aber nicht genau, welche Ausmaße er am Ende haben wird. Hat der Kern nur einen losen Zusammenhalt, könnte beim Einschlag viel Material herausgeschleudert werden, dessen Hauptanteil auf die Oberfläche des Kometen zurückfallen und sich dort in Form einer ausge-

dehnten Decke niederschlagen würde. Für diesem Fall erwarten die Wissenschaftler einen Kraterdurchmesser zwischen 60 und 240 Metern und ein Verhältnis von Durchmesser zu Kratertiefe von 4:1.

Bei einem harten und unnachgiebigen Kern rechnen die Forscher mit wenig Auswurfmaterial. Der Durchmesser des Kraters könnte dann gerade einmal zehn Meter betragen, mit einem Durchmesser-Tiefen-Verhältnis von 3:1. Ist das Kernmaterial porös und fängt die Aufschlagenergie weitgehend durch Kompression auf, könnte der Krater sogar noch kleiner ausfallen. In diesem Fall wäre das Einschlagbecken im Verhältnis zum Durchmesser sehr tief und wiese extrem steile Wände auf.

Die Art des entstehenden Kraters kann also viel über den Aufbau des Kerns verraten – zumindest, was seine äußeren Schichten betrifft. Solche Informationen lassen wiederum Rückschlüsse auf die Entstehung des Kometen zu: Ist der Kern weich und lose, so würde das die These stützen, dass sich die Schweifsterne aus

mehr oder weniger unverändertem Material des solaren Urnebels zusammensetzen. Ist das Material hart, so würde das darauf hindeuten, dass der Kometenkern nicht mehr im ursprünglichen Zustand ist, sondern sich durch innere Prozesse verfestigte. Denkbar wäre auch, dass die äußere Kruste aus verändertem Material besteht, während der innere Kern lupenreinen Urstoff beherbergt.

Herausforderung für die Technik

Größe und Geschwindigkeit der Auswurfwolke werden überdies Aufschluss über die Dichte des Kometenkerns geben. Nachdem die Forscher mit Hilfe der Kameras an Bord von Deep Impact die Größe des Kerns bestimmt haben, vermögen sie anhand der Dichte auch seine Masse zu berechnen.

Sowohl die Sonde als auch der Impaktor verfügen über eigene Messinstrumente und eine eigene Datenübertragung. Beide wurden bei Ball Aerospace im US-Bundesstaat Colorado gebaut. Die Instrumente müssen drei Aufgaben erfüllen: die Sonde in die Nähe von Tempel 1 lavieren, den Impaktor auf Kollisionskurs zum Kometenkern bringen und die wissenschaftlichen Messungen vor, während und nach dem Einschlag gewährleisten.

Die Sonde trägt die beiden Hauptkameras, nämlich das High-Resolution-Instrument (HRI) sowie das Medium-Resolution-Instrument (MRI). Das HRI ist eine der größten Optiken, die je für interplanetare Sonden gebaut wurden: Es verfügt über ein $f/35$ -Cassegrain-Objektiv mit dreißig Zentimeter Öffnung. Die Rolle des Okulars übernehmen eine 1024-mal-1024-Pixel-CCD-Kamera sowie ein Infrarotspektrometer. Im Frühjahr 2005 litt diese Kamera noch unter Fokussierungsproblemen; das Technikerteam arbeitete fieberhaft an einer Lösung.

Das Spektrometer hat eine etwas geringere Auflösung (512 mal 256 Pixel) und misst im infraroten Wellenlängenbereich zwischen 1,1 und 4,8 Mikrometern. Damit können Moleküle und chemische Elemente im Kometenmaterial identifiziert werden.

Vereinigungszeremonie Die Ingenieure von Ball Aerospace fügen die Deep-Impact-Raumsonde und den Impaktor zusammen (Aufnahme aus dem Jahr 2004).



BALL AEROSPACE & TECHNOLOGIES CORP.

Schweifsternen auf der Spur

Die obere Fotoreihe zeigt die Kometen 1P/Halley, 19P/Borrelly und 81P/Wild 2 (v. l. n. r.). Die Grafik darunter gibt den Aufbau der Deep Impact-Sonde wieder.



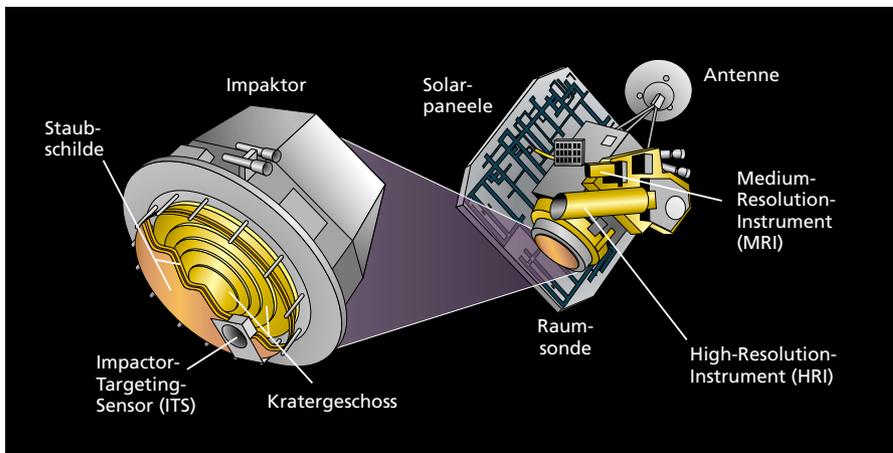
HALLEY MULTICOLOUR CAMERA TEAM / NASA

ziert werden, außerdem lässt sich die mineralogische Zusammensetzung im Innern des Kometenkerns und an seiner Oberfläche untersuchen. Die MRI-Weitwinkeloptik (11,8 Zentimeter Öffnung und $f/17,5$ mit einer 1024-mal-1024-Pixel-Kamera) ist in erster Linie ein Hilfsystem für den Fall, dass HRI ausfallen sollte. Außerdem ist MRI für die Navigation zuständig, vor allem in den letzten Tagen vor dem Einschlag. Mit seinem großen Gesichtsfeld wird es den Kometenkern dann leicht auffinden können.

Nach dem Ausklinken des Impaktors wird die Sonde ihr Triebwerk zünden, um einer Kollision mit dem Tempel-Kometen zu entgehen. Das Ausweichmanöver ist so gewählt, dass sie in 500 Kilometer Abstand am Kometen vorbeifliegt – genügend weit entfernt, um keinen Schaden zu erleiden, aber gleichzeitig nah genug dran, um den Krater gut fotografieren zu können. Vorsichtshalber gehört auch ein Staubabwehrschild zur Ausrüstung der Sonde. Nach dem Vorbeiflug wird HRI den sich entfernenden Kometen weitere sechzig Stunden lang beobachten. Das Bordteleskop soll unter anderem nach größeren Trümmern spähen, die infolge des Aufschlags den Kern umschwirren könnten.

Auf dem Impaktor selbst befindet sich nur ein einziges wissenschaftliches Instrument, der Impactor-Targeting-Sensor (ITS). Er ähnelt dem MRI, verfügt allerdings nicht über dessen Farbfilter. Der ITS soll zusammen mit einem kleinen Hydrazin-Triebwerk den Impaktor zielsicher zum Kern führen. In etwa zwanzig Kilometer Abstand, bevor alle Instrumente in ein Bombardement von Staubpartikeln geraten, wird ITS die schärfsten Bilder eines Kometenkerns schießen, die es je gab. Die Bildauflösung liegt dann bei etwa zwanzig Zentimetern pro Pixel. Nur die europäische Rosetta-Sonde und ihr Lander Philae dürften im Jahr 2014 einen noch besseren Blick auf den Kometen Tschuriumov-Gerasimenko haben.

Die großen Weltraumteleskope werden zwar erheblich zum wissenschaftli-



S & T, CASEY B. REED / AH

chen Erfolg von Deep Impact beitragen, doch sollen auch wichtige erdgebundene Messungen stattfinden. Seit vielen Monaten läuft eine Kampagne, um die Großteleskope bei der Kometenjagd zu koordinieren. Zum Glück wird Tempel 1 im Juli so hell sein, dass auch Amateurastronomen ihn vor, während und nach dem Impakt kontinuierlich überwachen können. Ihre Beobachtungen sind ein unverzichtbarer Teil der Gesamtmission; die Forscher planen sie fest ein (siehe www.deepimpact.umd.edu/stsp).

Kein Zerbersten

Zwar weiß niemand genau, wie Tempel 1 auf den Beschuss reagieren wird, aber kein beteiligter Forscher glaubt ernsthaft, dass der Komet zerbricht. »Die Kollision ist vergleichbar mit dem Zusammenprall eines 18-Tonnen-Trucks und einer Fliege«, sagt der Nasa-Wissenschaftler Donald Yeomans. Der Einschlag des Impaktors wird die Geschwindigkeit des Kometen nur um etwa 0,4 Millimeter pro Stunde verändern und seinen sonnennächsten Punkt gerade einmal zehn Meter an unser Zentralgestirn heranrücken. Die Dauer seines Sonnenumlaufs wird sich um weniger als eine Sekunde verringern. Das herausgeschleuderte Material verbleibt im Kometenorbit und gelangt nicht auf die Erdbahn.

Seit einigen Jahren wird verstärkt über Maßnahmen gegen wirklich »böartige« Kometen und Asteroiden diskutiert. Die

Frage lautet: Was kann die Menschheit gegen Himmelskörper tun, die sich auf Kollisionskurs mit der Erde befinden? Zwar könnte Deep Impact solche Grundfragen der »planetaren Verteidigung« nicht beantworten, meint Missionsleiter A'Hearn, aber: »Für eine gute Verteidigungsstrategie muss man möglichst viel über den Angreifer wissen – in diesem Fall über seine physikalischen Eigenschaften. Unsere Mission kann manche dieser Fragen klären.« Um die Erde eines Tages wirkungsvoll zu schützen, werden solche Himmelskörper künftig von ähnlichen Sonden angesteuert werden – zum Beispiel im Rahmen der japanischen Hayabusa-Mission (siehe nächstes Heft).

Die Deep-Impact-Mission wird wichtige Erfahrungen für solche Flüge liefern. Aus Sicht der Öffentlichkeit besteht ihr größter Nutzen darin, den Weg für eine künftige Kometen- und Asteroidenabwehr zu bereiten. Die Wissenschaftler hingegen hoffen in erster Linie darauf, neue Erkenntnisse zur Entstehung unseres Sonnensystems zu erlangen. Aus welchen Gründen auch immer: Wir alle werden um den 4. Juli herum in Richtung Tempel 1 starren. Hoffen wir auf einen klaren Himmel! <<

Elisabeth Warner ist Direktorin am Observatorium der University of Maryland und Ansprechpartnerin des Missionsteams für die Amateurszene. Der Amateurastronom **Greg Redfern** hält im Auftrag der Nasa populärwissenschaftliche Vorträge.



BEIDE FOTOS: STEFAN SEIP

Donald K. Yeomans arbeitet am Jet Propulsion Laboratory (JPL) in Pasadena bei Los Angeles (Kalifornien) und ist für die Berechnung der Flugbahn der Deep-Impact-Mission verantwortlich.

ASTRONOMIE HEUTE: Herr Yeomans, wie genau ist die Bahn des Kometen Tempel 1 bekannt? Genau genug, um ihn mit dem Impaktor zu treffen?

Donald Yeomans: Wir kennen die Bahn des Kometen sehr gut. Dennoch ist es nicht leicht, ihn zu treffen. Sowohl die Sonde als auch der Impaktor können den Kometenkern selbstständig verfolgen, den eigenen Kurs immer wieder anpassen und damit die Aufprallwahrscheinlichkeit entscheidend erhöhen. Die Annäherung an das Ziel erfolgt etwa so wie bei einem Marschflugkörper. Sie geschieht mit Hilfe einer optischen Navigation, die sich an Aufnahmen vom Kometenkern und von Hintergrundsternen orientiert und die Position des Kometen absolut und relativ zur Sonde ermittelt.

AH: Sind Kurskorrekturen auch durch die Bodenkontrolle möglich?

Yeomans: In den frühen Stadien der Mission können wir Deep Impact auch vom Boden aus steuern. Doch auf Grund der fünfzehnminütigen Lauf-

zeit des Signals zur Sonde müssen wir uns kurz vor dem Aufschlag auf die autonome Steuerung verlassen. Ein Eingreifen von der Erde aus ist dann nicht mehr möglich.

AH: Werden wir die Bahn des Kometen nach der Mission besser kennen?

Yeomans: Auf jeden Fall! Das ist eines der Missionziele.

AH: Düsenartig austretende Gase aus einem Kometenkern, so genannte Jets, können wie ein Raketenmotor wirken und die Bahn eines Kometen beeinflussen. Könnte das Auftreten eines solchen Jets kurz vor dem Aufschlag den Missionserfolg gefährden?

Yeomans: Theoretisch ja. Doch nicht ohne Grund wurde gerade dieser Komet als Ziel ausgewählt. Tempel 1 hat schon etliche Sonnenumläufe hinter sich gebracht. Jets treten nur noch selten auf, wahrscheinlich, weil der Kern inzwischen ziemlich ausgegast ist. Dennoch sind solche Ereignisse einkalkuliert. Immerhin besteht die Chance, dass der Impaktor die Kometenoberfläche durchdringt und infolgedessen ein Jet entsteht. Das wäre das denkbar spektakulärste Ergebnis der Mission.

AH: Wann führt der Impaktor seine letzten Kurskorrekturen durch?

Yeomans: Nach der Abtrennung von der Muttersonde kann er drei Kurskorrekturen durchführen, für mehr reicht der Treibstoff nicht. Den letzten Eingriff können wir bei Bedarf innerhalb der letzten fünfzehn Minuten vor dem Einschlag vornehmen. Die endgültige Bahn für das Annäherungsmanöver werden wir bereits Anfang Mai festgelegt haben, danach können wir den genauen Ort und Zeitpunkt des Aufschlags bestimmen.

AH: Kann Deep Impact auch als Test verstanden werden, um eines Tages Asteroiden oder Kometen, die auf Kollisionskurs mit der Erde sind, abwehren zu können?

Yeomans: Nicht im strengen Sinn. Die Wucht des Impaktor-Einschlags reicht nicht aus, um eine bedeutende Kursänderung des Kometen zu bewirken. Der Kometenkopf ist etwa 14 mal 4,5 mal 4,5 Kilometer groß; der Impaktor hat hingegen die Größe einer Wasch-

maschine und wiegt »nur« 370 Kilogramm. Der Aufschlag entspricht etwa dem Zusammenprall einer Fliege mit einem 18-Tonnen-Truck. Allerdings werden wir durch diese Mission einiges darüber lernen, wie man einen Himmelskörper gezielt treffen und ein schwieriges Dreikörperproblem bewältigen kann.

AH: Teile der Presse und der Öffentlichkeit sind dennoch besorgt, dass der Kurs des Kometen durch den Aufprall verändert werden könnte. Was meinen Sie dazu?

Yeomans: Meist werden solche Bedenken durch Informationsdefizite bewirkt. Der Einschlag kann die Bahngeschwindigkeit des Kometen nicht messbar verändern, allenfalls seine Bahnlage um einige Dutzend Meter beeinflussen. Das ist nur ein Bruchteil der Bahnänderung, die Tempel 1 bei einer seiner Annäherungen an den Planeten Jupiter erfährt.

AH: Welche Art von Krater wird Ihrer Meinung nach beim Einschlag wahrscheinlich entstehen?

Yeomans: Ich persönlich glaube, dass der Impaktor einen kleinen, tiefen Krater reißt und dass dabei eine große Menge an Material herausgeschleudert wird. Wir haben hier im Team eine Wette dazu abgeschlossen. Auf dem Deckel meines Notizbuchs habe ich meiner Fantasie allerdings einmal freien Lauf gelassen und eine ganz andere Variante ins Spiel gebracht. (Yeomans zeigt schmunzelnd sein Notizbuch. Auf der Titelseite prangt eine Zeichnung von ihm, die einen glatten Durchschuss zeigt.)

AH: Herr Yeomans, wo werden Sie sich am 4. Juli zum Zeitpunkt des Einschlags aufhalten?

Yeomans: Ich werde hier im Kontrollzentrum sein und die Daumen drücken, dass wir den Kometen treffen. Insgeheim hoffe ich, dass der Impaktor ein Stückchen des Kometen absprengt. Anhand der Bewegung dieses Trümms könnten wir die Dichte und absolute Masse des Kometenkerns bestimmen. Und natürlich kann ich es kaum noch erwarten, die Bilder vom Aufprall und von der Kraterentstehung zu sehen. <<



Rick Grammier ist Projektmanager der Deep-Impact-Mission.

ASTRONOMIE HEUTE: Herr Grammier, warum wurde der Impaktor nicht mit Sprengstoff gefüllt, um die Explosionswirkung zu verstärken?

Rick Grammier: Dafür gibt es zwei Gründe. Einerseits möchten wir das aus dem Kometen herausgeschlagene Material spektroskopisch untersuchen, um dessen chemische Zusammensetzung zu ermitteln. Eine Verunreinigung des Materials durch Sprengstoffreste würde die Messergebnisse verfälschen. Andererseits entspricht die Wucht des Einschlags auch ohne Sprengstoff dem Äquivalent von 4,8 Tonnen TNT. Dieser Wert ergibt sich aus der Masse des Impaktors und seiner hohen Aufprallgeschwindigkeit von 10,2 Kilometer pro Sekunde. Der Impaktor ist beim Einschlag zwanzigmal so schnell wie eine Gewehrkugel, und seine Bewegungsenergie liegt ein Vielfaches über der Energie, die man mit mitgeführtem Sprengstoff freisetzen könnte.

AH: Wie wird die hohe Aufprallgeschwindigkeit erreicht?

Grammier: Nicht die Sonde wird auf solche Geschwindigkeiten gebracht, vielmehr nutzen wir die Bahngeschwindigkeit des Kometen und stürzen uns ihm sozusagen in den Weg.

AH: Ist es ein Zufall, dass Deep Impact am 4. Juli, dem amerikanischen Unabhängigkeitstag, auf den Kometen trifft?

Grammier: Nein. Das haben wir absichtlich geplant, um genau an diesem Tag ein kleines kosmisches Feuerwerk zu zünden. Die Uhrzeit haben wir so gewählt, dass die großen Teleskope auf Hawaii und in Kalifornien den Kometen zum Zeitpunkt des Einschlags beobachten können.

AH: Wird die Helligkeit des Kometen durch den Einschlag zunehmen?

Grammier: Ja, wir erwarten eine Helligkeitszunahme von bis zu vier Größenklassen. Dann könnte man ihn sogar mit bloßem Auge oder mit einem kleinen Fernglas sehen. Wie lange der Helligkeitsausbruch anhält, darüber können wir allerdings nur spekulieren.

AH: Wie hoch schätzen Sie die Chance ein, den Kometen zu treffen?

Grammier: Wenn wir annehmen, dass es die Sonde bis in die Nähe des Kometen schafft, und wenn unsere Vorstellungen vom Kometenkern zutreffen, sehe ich die Trefferwahrscheinlichkeit bei 99 Prozent.

AH: Für den Erfolg der Mission ist es sehr wichtig, die Kraterentstehung zu beobachten. Wie hoch ist die zu erwartende Bildqualität?

Grammier: Im Vergleich zu früheren Missionen erwarten wir eine deutlich höhere Bildauflösung. Während beim Besuch von Halley die kleinsten erkennbaren Details etwa 100 Meter groß waren, bei Borrelly 50 Meter und im Fall der Stardust-Sonde 28 Meter, wird Deep Impact auf Tempel 1 Einzelheiten bis zu 2 Meter Größe erkennen. Der Impaktor, der sein letztes Foto etwa 30 Sekunden vor dem Aufprall funkt, könnte Oberflächendetails mit einer Größe von nur 15 Zentimetern aufnehmen, wenn Staub- und Gasentwicklung in der Nähe des Kometen die Sicht nicht beeinträchtigen.

AH: Können alle Aufnahmen in Echtzeit zur Erde übertragen werden?

Grammier: Nein, dazu sind die Datenmengen zu groß. Der Impaktor funkt seine Bilder zunächst zur Sonde. Diese legt die Daten in einem Festspeicher ab, sendet aber gleichzeitig einen Teil davon zur Erde. Damit wollen wir

verhindern, dass wir mit völlig leeren Händen dastehen, falls die Sonde auf ihrem Weiterflug durch die Kometenkoma zerstört werden sollte.

AH: Sicher findet eine Datenkompression statt, um die zu übertragende Datenmenge zu begrenzen. Ist dies mit einem Informationsverlust verbunden, wie er beispielsweise bei komprimierten Bildern im JPG-Format auftritt?

Grammier: Die Bilddaten müssen in der Tat so komprimiert werden, dass gewisse Verluste entstehen. Andernfalls wäre das Datenvolumen zu groß.

AH: Über welche Kameraausstattung verfügt die Sonde und Impaktor?

Grammier: Die Raumsonde verfügt über zwei Kameras: Das High Resolution Instrument und das Medium Resolution Instrument. Das HRI hat einen Blickwinkel von etwa sieben Bogenminuten. Im Abstand von 700 Kilometern beträgt der Abbildungsmaßstab 1,4 Meter pro Pixel. Das MRI erfasst den kompletten Kometenkopf mit einem Blickwinkel von fast 0,6 Grad. In 700 Kilometer Abstand sind das sieben Meter pro Pixel. Beide Kameras verfügen über ein Farbfilterrad und jeweils acht verschiedene Filter. Für Farbfotos müssen mindestens drei Farbauszüge nacheinander aufgenommen werden. Der Impaktor hat nur eine Kamera an Bord, den Impactor Targeting Sensor. Er entspricht weitgehend der Technik des MRI, aber ihm fehlt das Farbfilterrad – er kann also nur Schwarz-Weiß-Bilder aufnehmen. Alle drei Kameras enthalten den gleichen 1024-mal-1024-Pixel-Bildchip.

AH: Wo werden Sie am 4. Juli zum Zeitpunkt des Einschlags sein?

Grammier: Als Projektmanager werde ich mich natürlich im Kontrollraum aufhalten. Das erste Bild erwarten wir elf Minuten nach dem Einschlag, zwanzig Minuten später werden Sie es aus dem Internet herunterladen können. Möglicherweise veröffentlichen wir dort zu einem späteren Zeitpunkt auch die Rohdaten. <<

Die Interviews führte **Stefan Seip**. Er ist freier Autor und Astrofotograf in Stuttgart.