

Ein Schuss auf den Kometen Tempel 1

Von Men J. Schmidt*

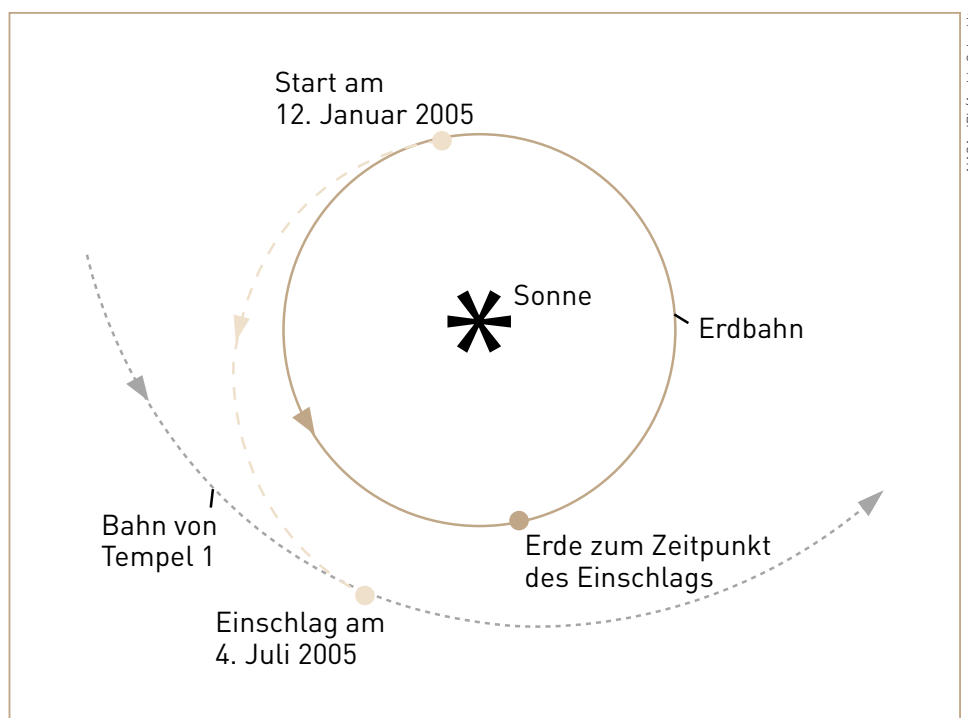
Die amerikanische Raumsonde «Deep Impact» hat ein Geschoss auf den Kometen Tempel 1 abgefeuert, mit dem Ziel, Aufschluss über den Aufbau des Kometen zu gewinnen. Die Mission mit ihrem Höhepunkt am 4. Juli 2005 verlief nahezu fehlerfrei.

Das Geschoss «Impactor» fand sein Ziel nach drei Kurskorrekturen selbstständig. Es sandte bis zu seinem Einschlag Bilder vom Kometen auf die Erde zurück. Von der Muttersonde («Flyby») des «Deep Impact» aus wurde der Einschlag fotografiert, und es konnten auch Messungen von der Kometenoberfläche durchgeführt werden. Das Missionsziel wurde voll erreicht. Als einziger kleiner Minuspunkt bleibt, dass das Fokussierungsproblem an der hoch auflösenden Kamera der «Flyby»-Sonde nicht gelöst und die Bilder nur mit einem numerischen Verfahren etwas geschärft werden konnten. Trotzdem erhielt man auch von der «Flyby»-Sonde die detailliertesten Bilder, die je von einem Kometen erstellt wurden.

Entdeckung vor 138 Jahren

Der Komet Tempel 1 wurde im Jahr 1867 vom deutschen Astronomen Ernst Tempel (1821–1889) entdeckt. Seitdem hat der Komet dem so genannten inneren Sonnensystem viele Besuche abgestattet: Er umkreist die Sonne nämlich in einem Zyklus von 5,5 Jahren.

Kometen sind aus zwei Gründen gut sichtbar: erstens durch den Staub, der durch den Sonnenwind vom Kometen weggeblasen wird und zweitens durch das Gas, das durch die Sonneneinstrahlung aus dem Kometenkern freigesetzt wird. Mit der Zeit nimmt die Aktivität eines Kometen immer mehr ab. Er kann sogar seine Aktivität ganz einstellen. Die Forscher sind bestrebt, die Vorgänge innerhalb des Kometenkerns und des Ausstosses von Staub und Gas besser zu verstehen. Von Interesse ist zudem, Aufschlüsse über die Zusammensetzung und Struktur des Inneren von Kometen zu erhalten.



Flugbahn der US-Raumsonde «Deep Impact» zum Kometen Tempel 1.

Kupfergeschoss auf Tempel 1

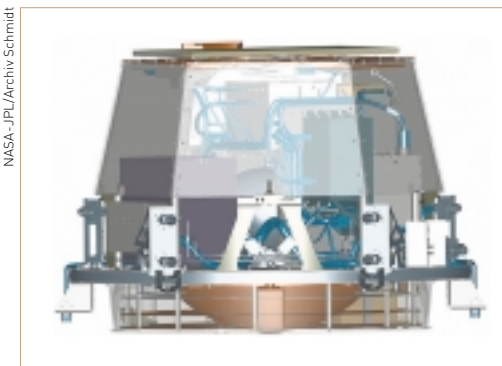
Die von der NASA konzipierte zweiteilige Raumsonde «Deep Impact» hatte nach dem erfolgreichen Start am 12. Januar 2005 den Zielkometen am 4. Juli 2005 in 133 Millionen Kilometern Entfernung von der Erde erreicht. Der einschlagende Flugkörper setzte sich vor allem aus Kupfer zusammen, von dem angenommen wurde, dass es im Kometen nicht in wesentlichen Mengen vorkommt. Zudem können Kupferanteile aus der gemessenen Staubzusammensetzung einfacher herausgefiltert werden.

Teleskop- und Raumsonden-Beobachtungen

Die beiden Kameras der NASA-Raumsonde «Deep Impact» und der «ITS» (Impactor Target Sensor) an Bord des «Impactors» lieferten Daten über Tempel 1. Die europäische Weltraumorganisation ESA hatte den Aufschlag sowohl mit ihrer Kometensonde «Rosetta», als auch mit ihrem Weltraumobserva-

torium «XMM-Newton» verfolgt. Beide Sonden wurden vom ESOC-Kontrollzentrum in Darmstadt gesteuert. Für Beobachtungen vom Erdboden aus hatte die ESA zusätzlich das Ein-Meter-Teleskop ihrer optischen Bodenstation auf der Kanarischen Insel Teneriffa eingesetzt. Die dem Ereignis nächste Raumsonde war «Rosetta». Sie war allerdings immer noch rund 80 Mio. km von Tempel 1 entfernt, dafür aber mit mehreren Instrumenten ausgestattet, die speziell für die Kometenbeobachtung entworfen worden waren. Zudem stand «Rosetta» in einem Winkel von 90° zur Sonne. Damit war die Beobachtungsgeometrie wesentlich besser als von der Erde aus. Die europäische Sonde hatte Tempel 1 vom 29. Juni bis zum 14. Juli beobachtet, also vor, während und nach der Kollision mit «Deep Impact».

Eingesetzt wurden dabei insgesamt vier Instrumente: Das Mikrowellen-Spektrometer MIRO (Microwave Spectrometer) und das Infrarot-Spektrometer VIRTIS (Visual



«Impactor».

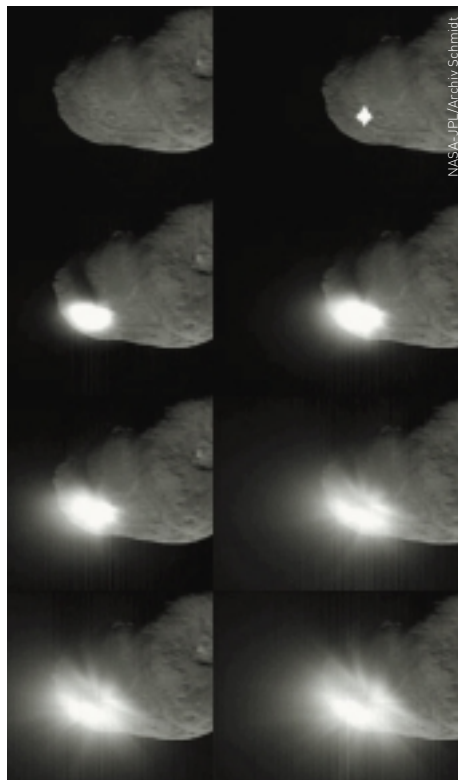
and IR Mapping Spectrometer), das Ultraviolett-Spektrometer ALICE und das OSIRIS-Instrument.

MIRO konzentrierte sich auf die chemische Zusammensetzung und die Temperatur, während VIRTIS die thermische Emission des freigesetzten Kometenstaubs bestimmte. Dabei wurde VIRTIS, um die mineralogische Besonderheit des Kometen zu entschlüsseln, von dem Ultraviolett-Spektrometer ALICE unterstützt. Das OSIRIS-Instrument, das unter Federführung des Max-Planck-Instituts für Sonnensystemforschung (MPS) in Katlenburg-Lindau entwickelt wurde, sollte mit seinen Kameras Bilder des Kometenkerns liefern.

Im Erdorbit hatten darüber hinaus die Weltraumteleskope «Hubble», «Spitzer», «Chandra» und «XMM-Newton» die Kollision beobachtet. Zusätzlich verfolgten über sechzig grosse Observatorien, verteilt über die ganze Welt, das Ereignis. So wurden beispielsweise die vier gigantischen VLT-Teleskope der europäischen Südsternwarte ESO in Chile mit ihren Spiegeln von 8,2 m Durchmesser mehrere Tage lang auf Tempel 1 gerichtet, ebenso das leistungsmässig vergleichbare Keck-Observatorium auf Hawaii, um nur zwei der Grossobservatorien herauszugreifen.

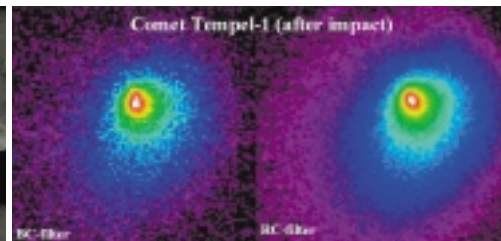
Unerwartet heftige Explosion

Der Einschlag sorgte für eine unerwartet heftige Explosion auf dem Kometen selbst. Es



(o.) Volltreffer: Das Projektil schlägt auf Tempel 1 ein und verursacht einen hellen Explosionsblitz.

(u.) Kurz nach dem Einschlag kann die Explosionswolke in allen Details beobachtet werden. Das Bild entstand nur 67 s nach dem Einschlag.



Die Bilder der Optical Ground Station der ESA auf Teneriffa zeigen, dass das von Tempel 1 ausgestossene Gas nach dem Treffer mit kleineren Staubpartikeln vermischt. Blau steht für kleine, Rot grössere Partikel.

wurde viel Material aufgeworfen, wie auf den Bildern der «Flyby»-Sonde aus etwa 8000 km Distanz zu sehen ist. Als das 372 kg schwere Projektil mit 37 000 km/h (10,3 km/s) auf Tempel 1 einschlug, musste die Explosion gewaltig gewesen sein. Der Staub aus den Resten des pulverisierten «Impactors» und des Kometenmaterials breitete sich mit einer Geschwindigkeit von rund 5 km/s aus. Der Einschlagskrater lag mit einem Durchmesser von rund 250 m an der Obergrenze der vorherigen Schätzung. Den Grund dafür fanden die Forscher in der riesigen Wolke, die sich nach dem Treffer halbkreisförmig ausbreitete.

Die Messungen legten nahe, dass der von der Oberfläche aufgewirbelte Staub extrem feinkörnig ist. Die Konsistenz des Kometenmaterials bedeute wahrscheinlich, dass Tempel 1 über eine sehr lange Zeitdauer entstanden ist.

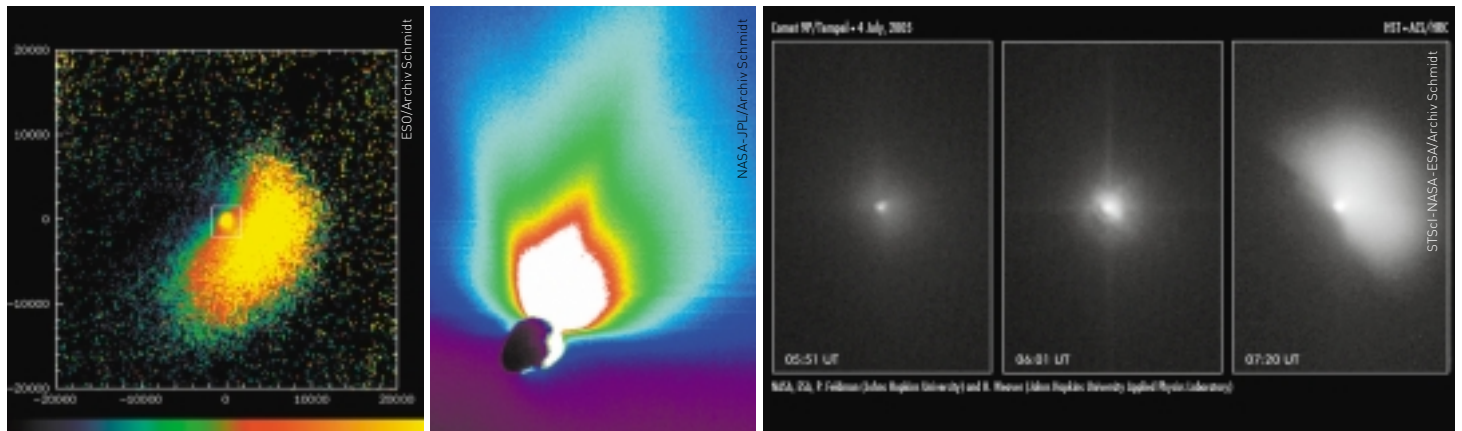
Erste Ergebnisse

Die Bilder übertrafen laut Michael A'Hearn, Chefwissenschaftler von «Deep Impact», alle Erwartungen. Vor allem die Fotos, die der «Impactor» in den Sekunden vor dem Aufschlag geschossen hatte, begeisterten die Forscher. «Wir können sogar Objekte mit einem Durchmesser von nur 4 m ausmachen», sagte Michael A'Hearn. Das sei zehnmal besser als alles, was bislang bei anderen Kometenmissionen gelungen sei. Auch die erdgebundenen Beobachter gingen nicht leer aus. Die

(l.) Das Bild des ESO La Silla Observatory, aufgenommen im so genannten J-Band, zeigt links unten den Materialauswurf nach dem Aufschlag. Das Innere des Kometen (weisser Kasten) zeigte für längere Zeit eine erhöhte Aktivität.

(m.) Tempel 1 flog nach dem Beschuss durch «Deep Impact» weiter. Das Falschfarbenbild zeigt die gewaltige Explosionswolke im Gegenlicht und die Nachtseite des Kometenkerns.

(r.) Vorher und nachher: Bilder des «Hubble»-Weltraumteleskops vom Einschlag des Projektils auf dem Kometen Tempel 1.



Helligkeit des Kometen stieg um etwa zwei Grössenklassen an. Das Aufbrechen der Kometenkruste verursachte eine über mehrere Tage dauernde Aktivitätssteigerung.

Viele Observatorien und auch Satelliten wie die europäische «Rosetta»-Sonde hatten den Einschlag mit ihren Instrumenten verfolgt und ergänzten das wissenschaftliche Bild. «Rosetta» wird in einigen Jahren – wenn alles gut verläuft – «Deep Impact» übertreffen. Als erste Sonde wird sie in eine Umlaufbahn um einen Kometenkern einschwenken. Ihr Landefährt wird weich landen und direkt auf dem Kometen Untersuchungen anstellen.

Die Teleskope der europäischen Südsternwarte (ESO) in Chile schossen phantastische Bilder. Die Wolke breitete sich halbmondförmig aus und am frühen Dienstagmorgen erreichte sie einen Durchmesser von 20 000 km, sagte ESO-Astronomin Monika Petr-Gotzens. Das Material flog nach dem Einschlag mit einer Geschwindigkeit von 500 km/h weg. Andere Berechnungen ergaben gar ein Auswurftempo von 700 bis 1100 km/h. Bei den ersten Spektralanalysen seien Zyanid sowie weitere Kohlenstoff- und Stickstoffverbindungen im Auswurf entdeckt worden, sagte Monika Petr-Gotzens.

Wasser- und Kohlendioxis

Das Weltraumobservatorium «XMM-Newton» hatte wie erwartet Wasser auf Tempel 1 entdeckt. Wie die ESA mitteilte, deckte sich dies mit den vorherigen Beobachtungen der europäischen Raumsonde «Rosetta».

Auch das Weltraumteleskop «Hubble» lieferte zahlreiche Daten über diese spektakuläre Himmelskollision. «Die Wolke besteht aus einer Mischung von Wassereis und Kohlendioxis sowie aus Substanzen, die noch nicht identifizieren werden konnten», sagte Rudolf Albrecht von der europäischen Koordinationsstelle des «Hubble»-Weltraumteleskops in München. Die noch nicht identifizierten Stoffe seien neuartig für Kometen und bislang auch nicht in ihren Gashüllen entdeckt worden. «Das ist Material, das seit Milliarden von Jahren sozusagen im Tiefkühlfach lag», erklärte Rudolf Albrecht.

Der Aufschlag hatte einer Energie von 4,5 t TNT entsprochen. «Die Energie wurde in Wärme umgewandelt und hat vermutlich zu einer Dampfexplosion geführt», meint Rudolf Albrecht. Die Verdampfung habe nur Bruchteile einer Sekunde gedauert, dann seien die Substanzen sofort wieder auf unter minus 100 °C abgekühlt und gefroren. ■

**Men J. Schmidt, freier Wissenschaftspublizist für Astronomie und Raumfahrt, Projektleiter für optische Systeme, Fisba Optik, St. Gallen, men.schmidt@fisba.ch, www.space-science.ch*

Meilenstein in der Kometenforschung

«Deep Impact» verhalf der Kometenforschung zu einem wichtigen Schritt vorwärts. Er wird das Bild vom frühen Sonnensystem ergänzen oder sogar revolutionieren. Die «Deep Impact»-Mission war nicht nur optisch ein spektakulärer Erfolg. Die Attacke auf den Kometen Tempel 1 hat Wissenschaftler mit einer Unmenge von Daten versorgt, die schon jetzt völlig neue Erkenntnisse versprechen.

Die «Deep Impact»-Mission ist eine Zusammenarbeit der Universität of Maryland (UMD), des Jet Propulsion Laboratory (JPL) und Ball Aerospace and Technology Corp. Die wissenschaftliche Leitung der Mission oblag dabei der UMD. Ingenieure von Ball Aerospace hatten die Sonde unter der Leitung des JPL gebaut und entworfen. JPL selber kontrollierte die Kometensonde «Deep Impact» nach dem Start und empfängt die Daten zur Analyse. Das gesamte Team besteht aus mehr als 250 Wissenschaftlern, Ingenieuren, Managern und Lehrern. «Deep Impact» ist eine NASA-Discovery-Mission, eine von acht Low-Cost-Missionen des NASA-Discovery-Programms zur präzisen und zielgerichteten wissenschaftlichen Untersuchung. Das Projekt kostet die NASA rund 333 Millionen Dollar.