

Vulkanismus auf dem Zwergplaneten Ceres

In Bezug zum SuW-Beitrag: „Junger Vulkanismus auf Ceres entdeckt“ in SuW 6/2017, Rubrik „Blick in die Forschung: Nachrichten“, WIS-ID: 1377447, Zielgruppe: Mittelstufe

Olaf Hofschulz

Die sehr erfolgreiche Raumsonde Dawn der NASA lieferte u.a. hochauflöste Bilder von der Oberfläche des Zwergplaneten Ceres im Asteroidenhauptgürtel. Ein spektakuläres Detail war dabei ein sehr heller, weißer Fleck im Zentrum eines Kraters mit dem Namen Occator. Mit Hilfe der Einschlagkraterstatistik wurde das Alter des hellen Zentrums des Occator-Kraters auf 4 Millionen Jahre datiert, wohingegen der umliegende Kraterboden mit 34 Millionen Jahren deutlich älter ist. Somit lässt sich schlussfolgern, dass der helle weiße Bereich durch kryovulkanische Aktivität vor ca. 4 Millionen Jahren entstanden ist. Es wird vermutet, dass in diesem Bereich aus dem Inneren von Ceres salzhaltige wässrige Lösungen mit hohen Anteilen von Methan und Kohlendioxid durch Spalten an die Oberfläche drängen. Dort verdampfte das Wasser, die Gase werden freigesetzt und die Salze abgelagert. So ist der helle Bereich im Zentrum von Occator entstanden, eine 400 m mächtige Ablagerung aus Karbonaten. Diese helle Struktur wurde Cerealia Facula genannt.

Im vorliegenden WIS-Material für die Mittelstufe werden die neuesten Forschungsergebnisse der US-Raumsonde Dawn aufgegriffen. Insbesondere der auf Ceres entdeckte Kryovulkanismus steht dabei im Mittelpunkt der Aufgaben. Das Material enthält ein Arbeitsblatt mit verschiedenen Arbeitsaufträgen zur Einordnung von Ceres als Himmelskörper, zum inneren Aufbau dieses Zwergplaneten, zu den verschiedenen Oberflächenformationen und zur physikalischen Erklärung des Kryovulkanismus. Dabei werden Aufnahmen der Dawn-Mission ausgewertet. In einer projektorientierten Aufgabe wird ein Modell des Kryovulkans Cerealia Facula im Occator-Krater gebaut.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten, Kleinkörper, Raumfahrt, Astropräzision	Aufbau des Sonnen- bzw. Planetensystems, Zwergplanet Ceres, Oberfläche von Ceres, aktuelle Forschungsgebiete, Erforschung des Sonnensystems mit Hilfe von Raumsonden, Alter von Himmelskörpern und Kratern, astronomische Forschungsmethoden
Fächerverknüpfung	Astro- Geo	Kryovulkanismus, Oberflächenformationen
Physik	Mechanik, Thermodynamik	Gravitation, Bahnen von Himmelskörpern, Aggregatzustände, Verdunsten
Lehre allgemein	Kompetenzen (Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation), Lehrform, Unterrichtsmittel	Auswertung von Bildmaterial, Abschätzung von Größenordnungen, astronomische Forschungsmethoden, Modelle zur Veranschaulichung von Größenverhältnissen, Modellieren eines Vulkans, Projektarbeit, Arbeitsblatt



Abbildung 1: Selbst angefertigtes Vulkanmodell. © Olaf Hofschulz

Aufgaben

1. Ceres ist der größte Körper im Asteroidenhauptgürtel zwischen Mars und Jupiter. Er gehört zur Kategorie der **Zwergplaneten**.
 - a) Definiert, was man unter einem Zwergplaneten versteht.
 - b) Vergleicht Ceres hinsichtlich der Einordnung in die Kategorie Zwergplanet mit dem Planeten Mars und dem Asteroiden Vesta.
2. Stellt einen **Steckbrief zur Dawn-Mission** zusammen, der Informationen zum Ablauf der Mission, zu den wissenschaftlichen Zielen und zu den Ergebnissen enthält. Nutzt für eure Recherche das Internet.
3. Mit Hilfe der Dawn-Sonde der NASA ist es gelungen, hochauflöste Aufnahmen von der **Oberfläche der Ceres** zu gewinnen. Die folgende Abbildung 1 (Auflösung: 140 m pro Pixel) zeigt den großen Krater Inamahari, der einen Durchmesser von 68 km besitzt.

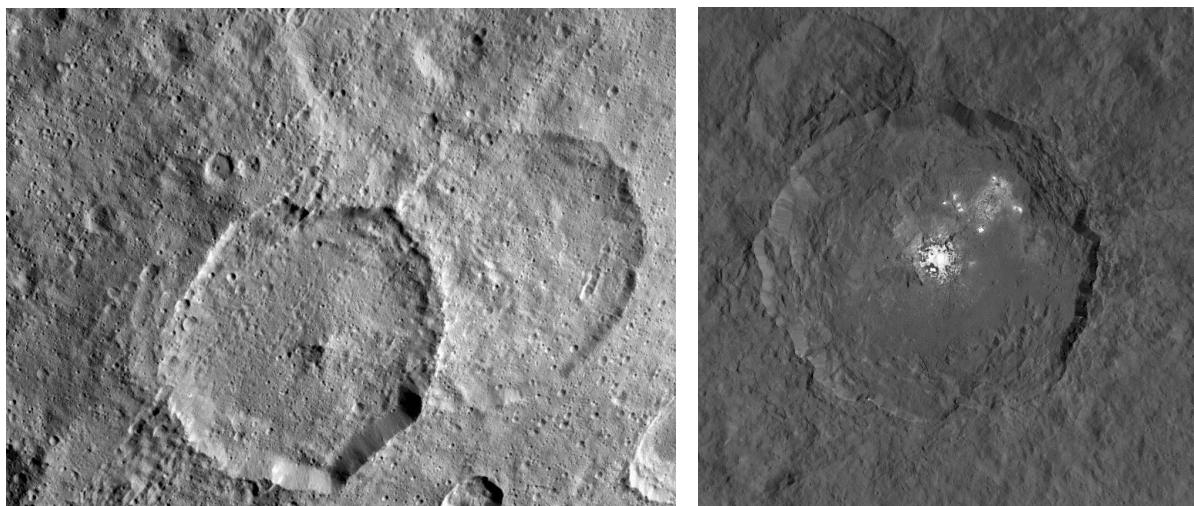


Abbildung 2: Links: Der Krater Inamahari mit einem Durchmesser von 68 km. © NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/images/wallpaper/PIA21402-1600x1200.jpg>. Rechts: Der Krater Occator mit einem Durchmesser von 92 km. © NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA, <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA19889.jpg>

- a) Beschreibt die Oberfläche der Ceres, wie sie sich auf diesem Foto zeigt und vergleicht diese mit anderen, euch bekannten Himmelskörpern.
- b) Ermittelt den Durchmesser von 5 weiteren Kratern auf der Abbildung ausgehend vom bekannten Durchmesser von Inamahari. Gebt den von euch gewählten Kratern einen eigenen Namen.
- c) Bestimmt die ungefähre Anzahl der kleineren Krater, die sich im Krater Inamahari befinden. Berechnet dann die „mittlere Kraterdichte“ für diesen Bereich in Krater je km^2 . Nutzt dazu die vergrößerte Abbildung im Anhang.
- d) Begründet, warum die tatsächliche Anzahl der Einschlagkrater mit dieser Aufnahme nicht ermittelt werden kann.
- e) Erläutert, wie mit Hilfe dieser „mittleren Kraterdichte“ das Alter von Inamahari im Vergleich zu anderen Regionen auf Ceres abgeschätzt werden kann.

4. Kryovulkanismus auf Ceres

Als besonderer Erfolg der Dawn-Mission gilt die Entdeckung kryovulkanischer Aktivität auf dem Zwergplaneten Ceres. Im Zentrum des Kraters Occator (siehe Abb. 2 rechts) befindet sich ein Bereich aus besonders hellem, weißem Material. Dort befindet sich ein 400 m hoher, kuppelförmiger Berg in einer 600 m tiefen und 11 km großen Grube. Beim Kryovulkanismus steigt immer wieder flüssiges Material aus dem Inneren des Himmelskörpers auf und drängt nach außen. Man vermutet dabei eine stark salzhaltige, wässrige Lösung mit Anteilen aus Methan und Kohlendioxid, die durch Risse und Spalten in der Cereskruste aufsteigt.

Im Vakuum an der Oberfläche verdampfte dann das Wasser und die mitgeführten Gase wurden freigesetzt. Dabei fielen die gelösten Salze als Feststoffe aus, so dass sich nach und nach der kuppelförmige zentrale Berg aus Salzen und Karbonaten bildete. Dieser Bereich der hellen Ablagerungen aus Salzen wurde Cerealia Facula benannt (siehe Abb. 3).

- a) Vergleicht das Alter das Alter des Kraters Occator mit dem von Inamahari.
- b) Vermutet, wie der Einschlag, der den Occator-Krater erzeugte, Auslöser der kryovulkanischen Aktivität gewesen sein könnte.
- c) Erläutert die physikalischen Prozesse beim Verdunsten.
- d) Führt ein Analogieexperiment durch, bei dem ihr ein Stück Stoff mit Salzwasser befeuchtet und dieses dann verdunsten lässt. Welche Beobachtung kann man nach dem Verdunsten machen?
- e) Begründet, warum die Entdeckung des Kryovulkanismus auf Ceres wichtige Aufschlüsse über den inneren, chemischen Aufbau dieses Himmelskörpers liefert.

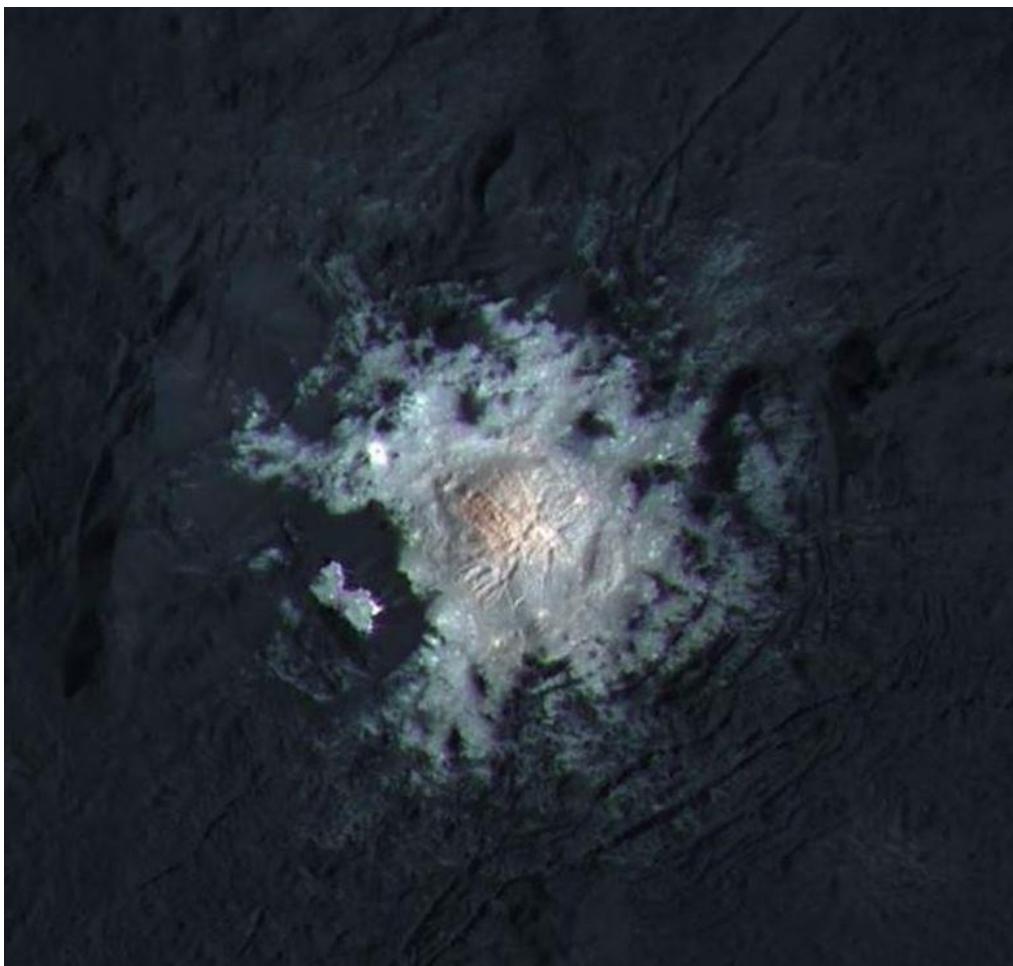


Abbildung 3: Cerealia Facula im Zentrum des Kraters Occator. © NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA
<https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/images/wallpaper/PIA20355-1600x1200.jpg>.

5. Baut ein Modell des Kryovulkans Cerealia Facula im Krater Occator. Simuliert die vulkanische Aktivität z.B. mit Hilfe einer Räucherkerze oder eines „Brausevulkans“.



Abbildung 4:
Modellvulkan und Modellvulkan „aktiv“
© Olaf Hofschulz.

Ausgewählte Lösungen und Hinweise

1. Einordnung Ceres

a) Definition Zwergeplaneten

- sind keine Satelliten
- umlaufen die Sonne auf einer elliptischen Umlaufbahn
- verfügen über ausreichend Masse, um aufgrund ihrer Eigengravitation eine annähernde Kugelform auszubilden

b) Vesta ist ein Asteroid und kein Zwergeplanet, da Vesta keine hinreichende Kugelform aufweist.

Mars ist im Unterschied zu Ceres ein Planet, da er seine Umlaufbahn dominiert und bereinigt hat.

2. Steckbrief, z.B. als Plakat, Mindmap, ...

3. Oberfläche von Ceres

- a) Man sieht viele kleinere und größere Einschlagkrater, wie z.B. auf dem Erdmond o. Merkur.
- b) Durchmesser ausgehend von $d = 68 \text{ km}$ für Inamahari über Verhältnisgleichung ermitteln.
- c) Krater auf dem vergrößerten Ausdruck im Anhang auszählen, z.B. mit farbigem Stift „abhaken“. Ergebnis z.B. 384.

$$\text{Kraterdichte} = \frac{\text{Krateranzahl}}{\text{Kraterfläche}} = \frac{384}{\pi \cdot r^2} = \frac{384}{\pi \cdot (34 \text{ km})^2} = 0,11 \frac{\text{Krater}}{\text{km}^2}$$

- d) Auflösung der Aufnahme
- e) Je mehr Krater, desto älter die Region, wenn man von einer statistisch gleichen Einschlagsrate für die gesamte Oberfläche ausgeht.

4. Kryovulkanismus

- a) Occator weist kaum Einschlagkrater auf, ist also viel jünger als Inamahari.
- b) Einschlag sorgte durch Aufprall für Risse in der äußeren Kruste von Ceres, so dass wässrige Lösungen austreten konnten.
- c) Erläuterung Verdunsten
- d) Hinweis: Das salzwassergetränktes Stoffstück sollte genug Zeit zum Verdunsten erhalten (mehrere Stunden), so dass die Salzablagerungen sichtbar werden.
- e) Weil damit ein Hinweis auf salzhaltige, wässrige Lösungen unter der Ceresoberfläche gefunden wurde.

5. Für das Modell wurde als Basis eine Holzplatte (Baumarkt, $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$) genutzt. In die Mitte wurde ein Loch mit einem Durchmesser von ca. 7 cm gesägt. Der Krater wurde mit Hilfe von Papier modelliert und mit Modellgips überstrichen. Für den zentralen Berg wurde eine passende Metalldose in das Loch gesetzt, diese wurde mit Aluminiumfolie überformt, dann ebenfalls mit Gips überarbeitet. Die Dose lässt sich danach herausnehmen und nach Belieben wieder einsetzen. Nach dem Trocknen kann das Modell farblich gestaltet werden. In den Zentralberg wurde dann noch ein Loch gebohrt. Nun lässt sich die Metalldose mit einer Räucherkerze darunter einsetzen (der Innenraum ist ja durch die Aluminiumfolie ausgekleidet), und das „freigesetzte Gas“ verlässt den Vulkan. Alternativ ist auch ein „Brausevulkan“ denkbar, dafür finden sich diverse Anleitungen im Internet.

Hinweis: Für die Bearbeitung der Aufgaben können die vergrößerten Aufnahmen auf den beiden folgenden Seiten (Anhang) ausgedruckt und laminiert werden.

Anhang

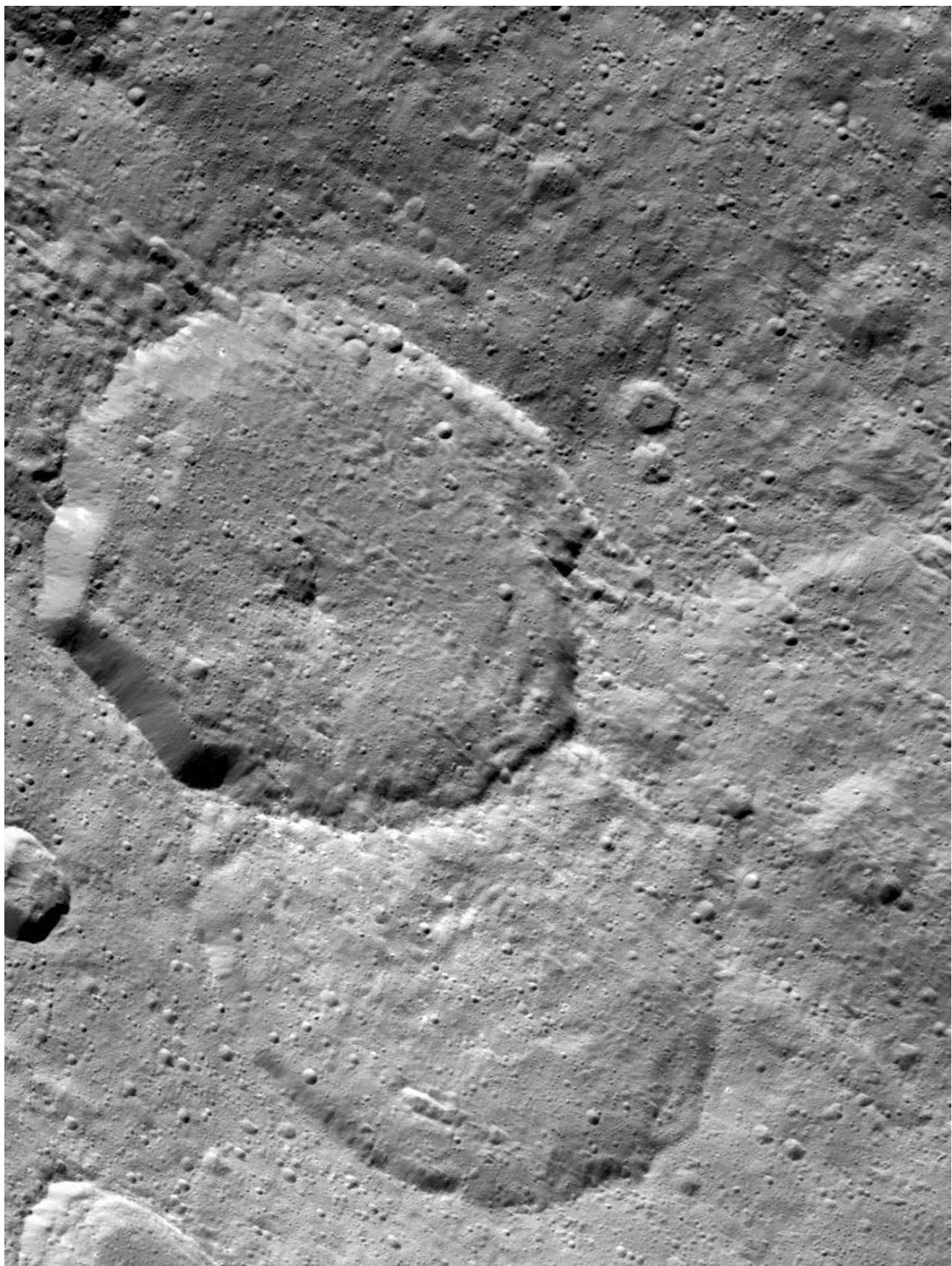


Abbildung 2, links: Der Krater Inamahari mit einem Durchmesser von 68 km. © NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA, <https://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/images/wallpaper/PIA21402-1600x1200.jpg>

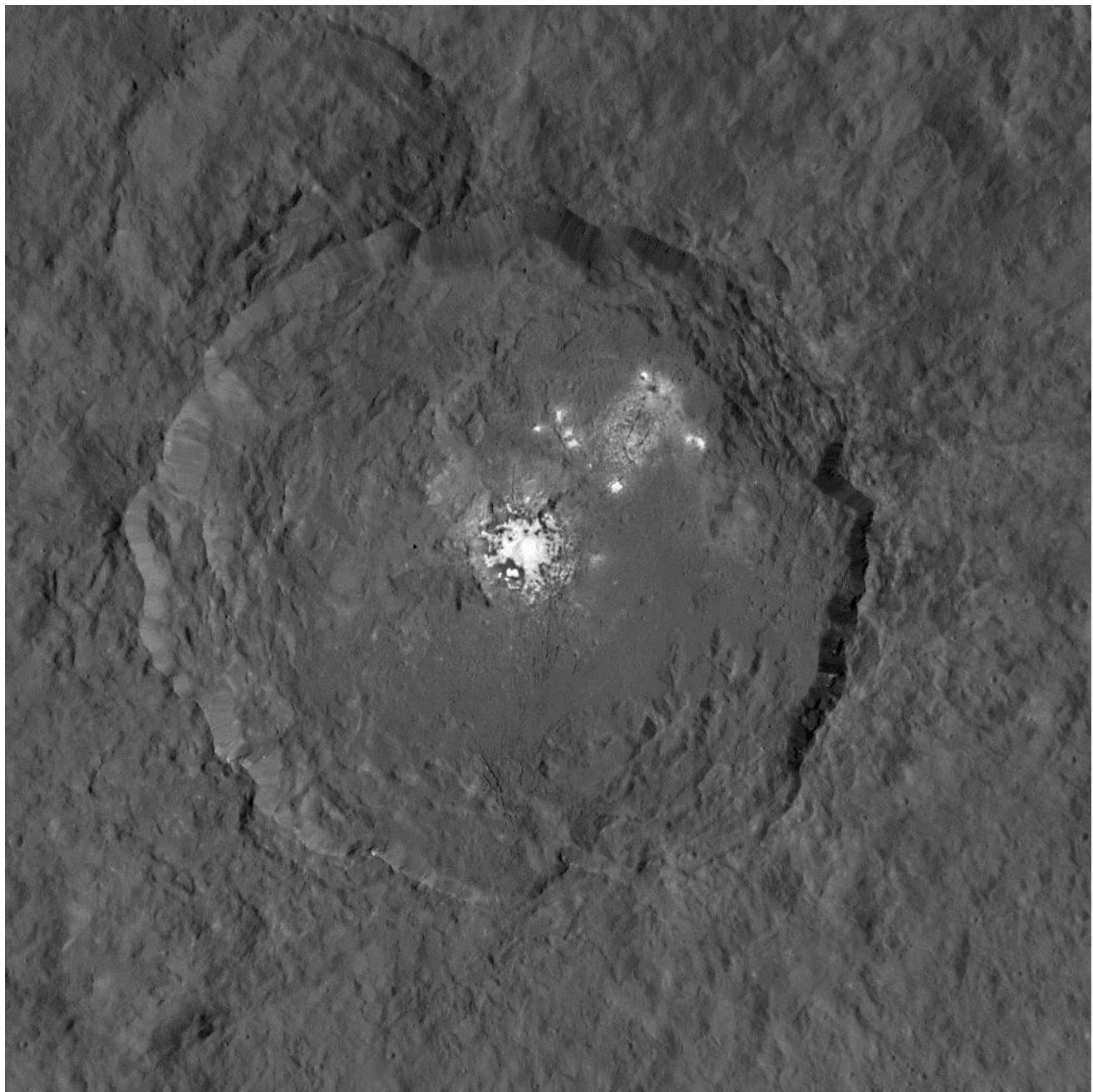


Abbildung 2, rechts : Der Krater Occator mit einem Durchmesser von 92 km.
© NASA/JPL-Caltech/UCLA/MPS/DLR/IDA, <https://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA19889.jpg>.