

■ Junger Ozean unter der Oberfläche des Saturnmondes Mimas

Die Raumsonde Cassini nahm vor einigen Jahren eine Fülle von hochgenauen Daten über das Saturnsystem auf. Eines der aufsehenerregendsten Ergebnisse war, dass die Saturnringe viel jünger sein müssen als das Sonnensystem, höchstens um die 100 Millionen Jahre alt, statt 4,5 Mrd. Jahre, wie man vorher dachte (Iess et al. 2019).

Nun ist der Saturnmond Mimas in den Fokus der Untersuchungen gerückt. Mimas ist der kleinste der mittelgroßen Monde und der innerste, ist also Saturn und den Ringen am nächsten. Er umkreist den Planeten in 0,94 Tagen in gebundener Rotation, weist also wie unser Erdmond dem Planeten immer dieselbe Seite zu. Seine Oberfläche ist stark verkratert; am auffälligsten ist der große Krater Herschel, der dem Mond ein Aussehen verleiht, das dem Todesstern aus den Star-Wars-Filmen ähnelt (Abb. 1). Aufgrund dieser Oberfläche und einer mittleren Dichte von $1,15 \text{ g/cm}^3$ war man in der Vergangenheit davon ausgegangen, dass der Mond aus einem Gesteinskern von ca. 120 km Radius und einer Eishülle von ca. 80 km Dicke aufgebaut ist. Im Vergleich dazu sieht sein etwas größerer Nach-

Abb. 1 Links: Der Saturnmond Mimas mit dem großen Krater „Herschel“ auf der rechten Seite. Rechts: Der etwas größere Saturnmond Enceladus zum Vergleich. (NASA / JPL-Caltech / Space Science Institute, Gemeinfrei; NASA / JPL, Gemeinfrei)



bar Enceladus (Abb. 1) ganz anders aus: Man sieht kaum Krater, dafür aber viele Risse. Zudem konnten spektakuläre Ausbrüche von Eisfontänen beobachtet werden. Enceladus gilt als ein Paradebeispiel der Kategorie von Monden, die einen globalen Ozean unter der bedeckenden Eisschicht beherbergen, deren Oberfläche sich ständig verändert. An der Oberfläche herrschen Temperaturen von ca. -180°C , viel zu kalt für flüssiges Wasser. Man nimmt an, dass innere Wärmequellen wie radioaktiver Zerfall im Gesteinskern und Gezeitenreibung die Ursache dafür sind, dass es im Inneren des Mondes warm genug ist.

Zurück zu Mimas. Im Zuge einer genauen Analyse des durch Gezeitenkräfte bedingten leichten Taumelns des Mondes während der Umläufe um den Saturn fanden TAJEDDINE et al. (2014) heraus, dass das Taumelverhalten – der Fachbegriff lautet *Libration* – nicht zu dem einfachen Modell eines festen Mimas aus einer Eis-Kugelschale und einem kugelförmigen Gesteinskern passt. Stattdessen schlugen sie eine entweder feste Struktur mit einem länglichen, abgeplatteten Ellipsoid als Gesteinskern oder aber eine Struktur mit einer flüssigen Ozeanschicht zwischen dem Gesteinskern und der Eishülle vor. Um diese Frage zu klären, untersuchten LAINEY et al. (2024) die Veränderung der Bahn des Mondes um den Saturn im Laufe der Zeit. Sie fanden heraus, dass diese Änderung – der Fachbegriff lautet *Periapsis-Präzession* – nur halb so groß ist, wie für einen durchgängig festen Mimas zu erwarten gewesen wäre. Somit wurde geschlussfolgert, dass Mimas eine Ozeanschicht haben muss. Die Daten passen zu ei-

nem Aufbau von Mimas aus einer 20 bis 30 km dicken Eishülle, einem 50 bis 60 km tiefen Ozean darunter und einem Gesteinskern mit 240 km Durchmesser. Diese aus Librations- und Bahndaten ermittelten Ergebnisse sind ebenfalls konsistent mit einer thermischen Simulation, in der modelliert wurde, wie die durch die Gezeitenwirkung erzeugte Wärmeenergie abgeführt wird (RHODEN & WALKER 2022).

Die Ozean-Hypothese bringt jedoch eine weitere Frage mit sich: Wieso ist Mimas' Bahn relativ stark exzentrisch (d. h. deutlich verschieden von einer Kreisbahn)? Schließlich sorgt eine Ozeanschicht dafür, dass durch die Wirkung der Gezeitenkräfte die Bahn in einer Zeit, die viel kürzer als das angenommene Alter des Sonnensystems ist, kreisförmig wird.

LAINEY et al. (2024) zufolge kann daher die Ozeanbildung erst vor ca. 20 bis 2 Millionen Jahren eingesetzt haben; außerdem sei die Ozeanschicht seit diesem Start kontinuierlich dicker geworden. Das Szenario bringt mit sich, dass die Bahnexzentrizität zu Beginn der Ozeanbildung noch 2,3- bis 2,9-mal höher gewesen sein muss als heute. Wodurch könnte das nun verursacht worden sein? Eine Möglichkeit wäre, dass es zu einem gegenseitigen Aufschaukeln von Bahnstörungen der Saturnmonde Mimas, Dione und Titan gekommen ist. Eine noch aufregendere Hypothese besagt, dass bei solchen Instabilitäten ein weiterer Mond beteiligt war, der zu nah an Saturn gekommen ist, sodass es ihn zerrissen hat und seine Überreste nun das Ringsystem bilden. Nach Simulationsrechnungen von WISDOM et al. (2022) erklärt diese Hy-

pothese am besten, warum es das Ringsystem gibt und wie der große Neigungswinkel der Saturn-Rotationsachse zustande kommt.

Somit zeigen auch die neuesten Ergebnisse von Mimas, dass es bei genauem Hinsehen weiterhin zu wichtigen Änderungen in der Rekonstruktion von Geschehnissen im Sonnensystem kommt. Längst nicht alle Daten kann man in die eine Grundvorstellung einordnen, dass nach der Konsolidierung der Masse der ursprünglichen hypothetischen Gas- und Staubwolke in Sonne, Planeten und Monde vor ca. 4 Milliarden Jahren fast nichts mehr passiert wäre.

Kritisch für die Grundvorstellung an sich würde es allerdings erst, wenn herauskäme, dass die Mondsysteme um die großen Planeten generell nicht über die Dauer des Alters des Sonnensystems stabil sein könnten und man deshalb nicht mehr erklären könnte, warum sie heute überhaupt noch da sind.

Andere Beobachtungen, wie zum Beispiel ein ähnlicher Ozean unter Eis beim von Gezeiten ungestörten Asteroiden Ceres, weisen allerdings ebenfalls eine Anomalie bezüglich hohen Alters auf (KOREVAAR 2020).

[LESS L et al. (2019) Measurement and implications of Saturn's gravity field and ring mass. *Science* 364, eaat2965 • KOREVAAR P (2020) Ceres' verborgener Wasserozean *Stud. Integr. J.* 27, 127–128 • LAINEY V et al. (2024) A recently formed ocean inside Saturn's moon Mimas. *Nature* 626, 280–282 • RHODEN AR & WALKER ME (2022) The case for an ocean-bearing Mimas from tidal heating analysis. *Icarus* 376, 114872 • TAJEDDINE R et al. (2014) Constraints on Mimas' interior from Cassini ISS libration measurements. *Science* 346, 322–324 • WISDOM J et al. (2022) Loss of a satellite could explain Saturn's obliquity and young rings. *Science* 377, 1285–1289] A. Ehrmann