

Wassermonde im Sonnensystem

Es gibt im gesamten Sonnensystem neben den Planeten *Terra* und *Mars* genau zwei Orte, an denen nennenswerte Mengen von Wasser existieren, vielleicht sogar in flüssiger Form: es sind dies der Saturnmond **Enceladus** und der Jupitermond **Europa**. Beide Himmelskörper liegen weit weg von der habitablen Zone in großer Sonnenferne und auf den ersten Blick erscheint das Vorhandensein von flüssigem Wasser mehr als unwahrscheinlich. Aufgrund der lokalen Gegebenheiten ist jedoch bei beiden Monden das Vorhandensein von flüssigem Wasser sehr wahrscheinlich.

Abb. 1a: der Jupitermond *Europa*, einer der vier galileischen Monde des Riesenplaneten, ist mit 3122 km Durchmesser nur geringfügig kleiner als der Erdenmond mit 3475 km. Daher ist er einer der größeren Monde im Sonnensystem (*Credits:*

NASA/JPL)

Enceladus ist überwiegend aus Wassereis zusammengesetzt. Er ist im gesamten Sonnensystem das Objekt mit der höchsten Albedo von 0.99, verursacht durch seine reine Wassereisoberfläche. Er reflektiert also mehr als 99% des auf ihn fallenden Sonnenlichtes wieder in den Raum. Seine Oberflächentemperatur liegt bei etwa -200°C ($\sim 70\text{K}$). Wassereis ist bei dieser Temperatur hart wie Fels. Sein sehr viel größeres Pendant **Europa** hat eine Albedo von 0.64, ebenfalls eine der höchsten im Sonnensystem und seine Oberflächentemperatur liegt zwischen -160°C am Äquator und -220°C an seinen Polen.

Abb. 1b: der Saturnmond *Enceladus* ist nur 504 km durchmessend, d.h. er hat gerade den ausreichenden Durchmesser, um eine runde Form aufgrund der Gravitation annehmen zu können. Er ist somit nur halb so groß wie z.B. der Asteroid Ceres im Asteroidengürtel des Sonnensystems.

Beide Monde besitzen keine oder fast keine Krater, d.h. ihre Oberfläche ist jeweils recht jung, zumindest gemessen in geologischen Zeitaltern, wie die nächsten Abbildungen zeigen:

Abb. 2a: die Oberfläche von Europa ist ganz aus Wassereis und besteht aus quer über den Mond

laufenden Gräben und Rinnen

Die Oberfläche beider Monde erinnert stark an Eisfelder in Polarregionen der Erde. **Europas** auffälligstes Merkmal ist ein Netzwerk von kreuz und quer verlaufenden Gräben und Furchen, die die gesamte Oberfläche überziehen. Diese haben eine starke Ähnlichkeit mit Rissen und Verwerfungen auf irdischen Eisfeldern. Die Gräben könnten durch Eisvulkane oder den Ausbruch von Geysiren aus warmem Wasser entstanden sein, wodurch die Eiskruste auseinander gedrückt wurde.

Die Oberfläche von **Enceladus** ist ebenfalls relativ jung (fehlende Krater). Dies deutet darauf hin, dass der Mond geologisch aktiv ist. Ursache ist offensichtlich ebenso wie bei Europa ein Vorhandensein von Kryovulkanismus, bei dem Wasser aus dem Innern des Mondes austritt und sich über die Oberfläche verteilt. Enceladus ist der kleinste bekannte Körper im Sonnensystem, der eine geologische Aktivität dieser Art aufweist.

Abb 2b: Die Eiswüsten von Enceladus sind

Eisgebirge und Täler, die sich permanent verändern.

Abb. 3: die gefurchte Oberfläche von Europa

Abb. 4: hochaufgelöste

Detailaufnahme der

Oberfläche von Europa

aufgenommen durch Galileo

Unter **Europas** Kruste aus Wassereis wird ein Ozean aus flüssigem Wasser vermutet, der aufgrund von Gezeitenwirkungen im Schwerefeld des Jupiter erwärmt wird. Die größten auf der Oberfläche sichtbaren Krater wurden offensichtlich mit frischem Eis ausgefüllt und eingeebnet. Dieser Mechanismus sowie Berechnungen der durch die Gezeitenkräfte verursachten Erwärmung lassen darauf schließen, dass Europas Eiskruste etwa 10 bis 15 km dick ist. Der darunter liegende Ozean könnte eine Tiefe von bis zu 90 km aufweisen. Durch die Gezeitenkräfte wird die Oberfläche regelmäßig umgebildet, Aufgrund der Grabenmuster und des jeweiligen Alters der Muster lässt sich rückschließen, dass sich der Wasserozean zusammen mit der Oberflächenkruste geringfügig schneller als der darunterliegende Mond dreht, d.h. die Eiskruste ist vom Mondinnern durch den dazwischen liegenden Ozean mechanisch abgekoppelt und wird von Jupiters Gravitationskräften beeinflusst. Vergleichende Aufnahmen der Raumsonden *Galileo* und

Voyager 2 zeigen, dass sich Europas Eiskruste in etwa 10.000 Jahren einmal um den Mond bewegt.

Enceladus besitzt eine dünne Wasserdampfatosphäre, die durch Eisvulkane und Geysire gespeist wird. Überraschenderweise befindet sich am Südpol dieses Mondes eine Zone lokaler Erwärmung, die die Oberfläche dort um etwa 20 bis 25 K stärker aufheizt, als es zu erwarten wäre. In dieser Zone treten aus vier parallel nebeneinanderliegenden etwa 300-500m tiefen Gräben, "Tigerstreifen" genannt, Wasserdampf Wolken aus und strömen in den Weltraum. Abb. 5 zeigt eine Aufnahme des Orbiters Cassini im Gegenlicht der Sonne bei Überflug des Enceladus-Südpols, der die Aktivität in drei der vier "Tigerstreifen" eindrucksvoll zeigt. Die am Südpol mit großer Geschwindigkeit ausströmenden Eismassen werden aufgrund der geringen Gravitation auf der Oberfläche des kleinen Mondes in den Weltraum abgestrahlt und bilden dort den E-Ring in Saturns Ringebene.

Bleibt die Frage nach der Ursache der Erwärmung am Südpol von Enceladus. Der Mond ist viel zu klein, um nennenswerten radioaktiven Zerfall als Wärmequelle zu haben. Er umkreist Saturn in einer 2:1-Resonanz mit dem Mond *Dione* (wie die Monde *Io* und *Europa* den Jupiter), wodurch Gezeitenkräfte wirksam werden, die Reibungen im Mondinnern und damit eine Erwärmung bewirken. Allerdings ist dieser Mechanismus nicht ausreichend, um genügend Wärme zur Verflüssigung von Wassereis zu erzeugen. Die gesamte Erhitzungsrate, die sich aus der Summe möglichen radioaktiven Zerfalls im Innern sowie der maximalen Gezeitenkräfte ergibt, beträgt lediglich etwa ein Zehntel der beobachteten Wärmeenergie. Im Innern von Enceladus könnten chemische Stoffe vorhanden sein, die den Schmelzpunkt des Eises herabsetzen. Diskutiert wird das Vorhandensein von Ammoniak, welches dies bewirken könnte. Es konnte jedoch bislang keine Spur dieses Gases nachgewiesen werden.

Abb 5: Eisgeysire in Aktion am Südpol von Enceladus

Interessant ist bei Enceladus das Vorhandensein von Kohlenstoffverbindungen im Ausstoß der Wasserdampf Wolken. Das Raumschiff Cassini hat bei einem der nahen Vorbeiflüge am Enceladus-Südpol in einer Höhe von nur 52 km (!) mit seinem Massenspektrometer das Vorhandensein von Wasserdampf, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und anderer Kohlenwasserstoffverbindungen detektiert, und zwar in einer nicht erwarteten Menge. Damit besitzt Enceladus Wärme, Wasser und organische Chemikalien, einige der wesentlichen Bausteine für die Entwicklung von Leben.

Abb. 6a: in den Weltraum strömende Wasserdampf Wolke an Enceladus' Südpol

Abb. 6b: Die von Enceladus ausgehenden Wassermassen sind für die Speisung von Saturns E-Ring verantwortlich. Hier zieht Enceladus seine Bahn im E-Ring von Saturn. Auch die weiteren dem E-Ring nahen Saturnmonde profitieren davon.

Abb. 7: hochaufgelöster Ausschnitt der Enceladus Oberfläche in der Nähe des Südpols. Man sieht einen der "Tigerstreifen", aus denen Eisvulkane und Geysire ihr Material in den Weltraum schleudern.

Sowohl **Europa** als auch **Enceladus** sind heiße Kandidaten für die Suche nach Leben, die bisher auf den inneren Planeten des Sonnensystems bisher nicht so recht von Erfolg gekrönt war. **Europa** war im Rahmen der Galileo-Mission der erste Kandidat für eine zukünftige Mission mit diesem Ziel. Auch und vor allen Dingen wegen des Mondes Europa wurde seinerzeit das Raumschiff Galileo nach Ende der Jupitermission gezielt in die Atmosphäre des Riesenplaneten gesteuert, um bei einem in der Zukunft möglicherweise unvorhersehbaren Absturz auf Europa eine Kontamination mit an Galileo haftenden irdischen Mikroben zu vermeiden.

Bei **Enceladus** ist die Sache noch vielversprechender. Am 14. Juli 2005 wurden von der Raumsonde Cassini, die den Mond in nur 175 km Abstand überflog, unzählige Eisbrocken in der Größe eines Einfamilienhauses beobachtet, deren Herkunft nicht ganz klar ist, siehe nebenstehendes Bild. Da sich diese Brocken im Bereich der bereits erwähnten Streifenmuster befinden, besteht mit großer Wahrscheinlichkeit ein Zusammenhang zu den kryovulkanischen Aktivitäten der Südpolregion. Es könnte sich flüssiges Wasser in Kammern befinden, die möglicherweise nur einige Meter unter der Oberfläche liegen. Es brähe dann ähnlich einem Geysir an die Oberfläche aus. Die geysirartigen Fontänen in der Südpolarregion waren bis in eine Höhe von 500 Kilometern zu beobachten. Ein Teil davon kühlt im Weltraum ab und fällt als Eisbrocken auf die Oberfläche, die dadurch im Laufe der Zeit ihre Struktur komplett erneuert.

Von dem Großteil der in den Weltraum entwichenen Partikel bildet der Großteil den verwaschenen E-Ring des Saturn. Ein Teil gelangt auf die Oberfläche von anderen Saturnmonden, daher sind auch *Mimas*, *Tethys*, *Dione* und *Rhea* – die Satelliten im Bereich des E-Rings – im Vergleich zu anderen Monden des Saturn ungewöhnlich hell. (Credits: Wikipedia "Enceladus").

Einige der früheren Newsmeldungen auf marspages.eu befassen sich mit einigen der herausragendsten Entdeckungen von Cassini:

22. Mai 2010	Neues vom Saturnmond Enceladus
21. November 2009	Eiswolken auf Enceladus