

Zu viele Zufälle im Sonnensystem

Wenn mehrere seltsame Ereignisse gleichzeitig stattfinden, werten wir das gerne als Hinweis, dass diese Ereignisse irgendwie miteinander zusammenhängen. Ist ein solcher Zusammenhang aber nicht erkennbar, darf zu Recht gefragt werden, ob die Ereignisse vielleicht doch nicht so seltsam sind wie zuerst angenommen. Eine solche Situation trifft im Sonnensystem auf die Planeten Jupiter und Saturn und ihre Monde zu. Hier können mehrere Naturphänomene beobachtet werden, die relativ kurzlebig sind. In einem alten Sonnensystem ist das unerwartet – nur ein Zufall? Da es zwischen diesen Phänomenen keinen erkennbaren Zusammenhang gibt, handelt es sich um zu viele Zufälle auf einmal und es kann die Frage gestellt werden, ob diese Konstellation indirekt darauf hindeutet, dass das Sonnensystem viel jünger ist als bislang angenommen.

Peter Korevaar

Ungewöhnliche Ereignisse im Sonnensystem

In *Nature* erschien Anfang 2013 ein Artikel unter dem Titel „Caught in the Act“ (auf frischer Tat ertappt) in dem auf mehrere zurzeit stattfindende besondere Ereignisse im Sonnensystem hingewiesen wird (McKee 2013a). Eine deutsche Übersetzung des Artikels erschien kurze Zeit später in *Spektrum* (McKee 2013b) unter dem Titel „In flagranti im Sonnensystem“. Im Mittelpunkt des Interesses stehen der Jupitermond Io sowie die Saturnringe und die Saturnmonde Titan und Enceladus. Sie alle zeigen Phänomene, die sehr wahrscheinlich vorübergehend sind und von kurzer Dauer im Vergleich zum gemeinhin angenommenen hohen Alter des Sonnensystems. Und das wirft die Frage auf, warum diese Sonderereignisse gerade jetzt stattfinden, wo wir als Menschen in der Lage sind, zuzuschauen.

Im Folgenden werden die Beobachtungen im Einzelnen vorgestellt und anschließend diskutiert, was dies für das Gesamtverständnis unseres Sonnensystems bedeuten könnte.

Die Saturnringe – jung und dynamisch?

Die Saturnringe (Abb. 1) faszinieren seit jeher die Forscher. Die brennenden Fragen „Wie und wann sind die Ringe entstanden?“ und „Welche physikalische Prozesse halten das Ringsystem stabil?“ sind bis heute unbeantwortet. Einerseits gehen die meisten Forscher davon aus, dass die Ringe schon mehrere Milliarden Jahre alt seien.

Das Hauptargument dafür ist, dass nach gängiger Entstehungstheorie in der Frühzeit des Sonnensystems noch viele Überbleibsel der Planetenbildung durch das Sonnensystem schwirrten und eines davon durch die Gravitation des Saturns auseinandergerissen wurde und so das Material für die Ringe geliefert haben soll.

Andererseits sprechen mehrere Fakten gegen ein hohes Alter der Ringe: Es gibt keine befriedigende Erklärung dafür, wie die hochaufgelöste Feinstruktur der Ringe über Milliarden Jahre aufrecht erhalten werden kann. Von alleine würden die Ringe in relativ kurzer Zeit verschmie-

Abb. 1 Hochauflösende Detailaufnahme der Saturnringe. Links der B-Ring, Rechts der A-Ring, dazwischen die Cassinische Teilung. Die Feinstruktur der Ringe und die Helligkeit, insbesondere des B-Rings, sind Hinweise auf ein junges Alter. (NASA/JPL/Space Science Inst.)

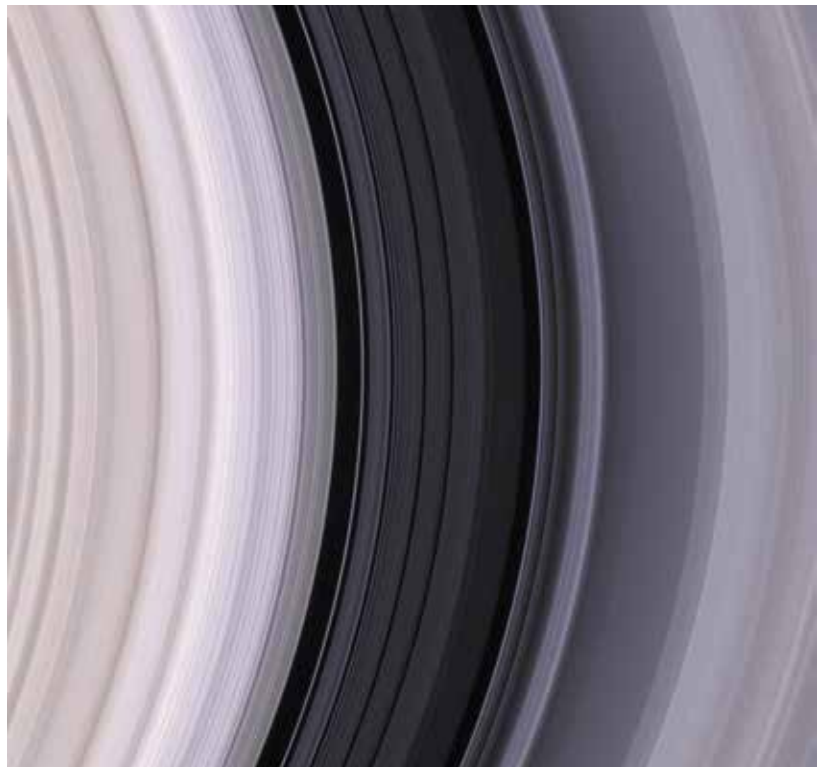




Abb. 2 Der Jupitermond Io ist vulkanisch extrem aktiv. Die heutige Gezeitenwirkung von Jupiter kann diese Aktivität nicht erklären. (NASA 1999)

ren und auseinander diffundieren. Ein weiteres Problem ist die helle Farbe, insbesondere des großen mittleren B-Rings, die auf einen niedrigen Verschmutzungsgrad hinweist (CUZZI 2010).

Warum finden diese Sonderereignisse gerade jetzt statt, wo wir als Menschen in der Lage sind, zuzuschauen?

Bei einem hohen Alter sollten die ursprünglich hellen Eispartikel durch kohlenstoffhaltigen Staub von Kometen und Asteroiden längst dunkler geworden sein. Dies ist bei den anderen bekannten, aber weniger ausgeprägten Ringen um Jupiter, Uranus und Neptun der Fall. Nicht jedoch bei Saturn.

Wie schnell die Ringe verdunkeln hängt allerdings davon ab, wie groß die Einzelteile sind, aus denen die Ringe bestehen. Bislang wird angenommen, dass die Ringe aus vielen relativ kleinen einzelnen Brocken aus Wassereis bestehen. Je größer diese Brocken aber sind, umso länger wird es dauern, bis der Verdunklungseffekt auftritt. Hierüber wird die Raumsonde Cassini hoffentlich in einigen Jahren Auskunft geben können, denn es ist geplant, sie am Ende ihrer Saturnmission im Jahr 2017 durch das Ringsystem zu schicken, um genaue Messungen der Ringstruktur vorzunehmen und wenn möglich sogar einzelne Teile direkt zu fotografieren, was bislang aufgrund der relativ großen Distanz noch nicht möglich war. Diese Aktion wird deswegen erst am Ende der Mission durchgeführt, weil eine ernsthafte Gefahr einer Kollision mit einem der

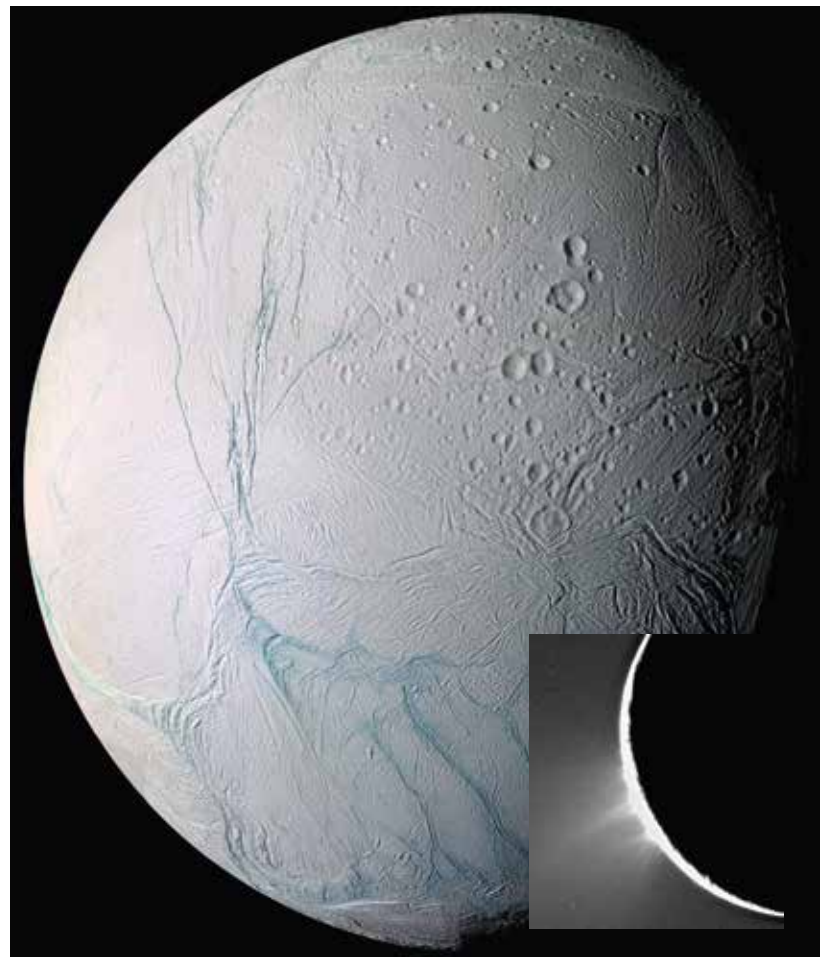
Eisbrocken besteht, die das Ende von Cassini bedeuten würde.

Sollten die Ringe – wie bislang vermutet – in der Tat aus vielen kleineren Eisbrocken bestehen, könnte das Ringsystem höchstens mehrere Millionen Jahren alt sein, eventuell auch viel jünger. Dies ist sehr kurz in Vergleich zum angenommenen Alter des Sonnensystems von ca. 4,5 Milliarden Jahren. Somit würden wir Saturn mit seinen Ringen in einem Ausnahmezustand beobachten, in dem er sich im größten Teil seiner Existenz weder befand noch befinden wird.

Io – Der energiegeladene Jupitermond

Die höchste vulkanische Aktivität im Sonnensystem finden wir auf dem Jupitermond Io (Abb. 2). Io bewegt sich nahe am Jupiter und ist somit großer Gezeitenwirkungen ausgesetzt, die den Mond kräftig durchkneten und aufheizen. Dies klingt nach einer plausiblen Erklärung für das pockennarbige Aussehen des Mondes. Doch genaue Berechnungen zeigen: Die Gezeitenwirkung kann nur ein Bruchteil der Energieleistung bringen, die für die beobachtete Aktivität notwendig ist. Dies wiederum bedeutet, dass Io zurzeit hyperaktiv ist und das nicht lange durchhalten kann. Als Erklärung für die hohe Aktivität wird unterstellt, dass die Umlaufbahn von Io sich im Laufe der Zeit verändert hat und vor nicht allzu langer Zeit stark exzentrisch war. Dabei wäre dann die Gezeitenwirkung viel extremer gewesen. Inzwischen sei die Bahn kreisförmiger, aber der Mond wäre durch die frühere starke Gezeitenwirkung buchstäblich noch energiegeladen und das wäre der Grund für die gezeigte Aktivität (LAINEY 2009).

Die Erklärung hat eine unangenehme Seite: Jupiters Gezeitenwirkung wirkt nämlich insgesamt stabilisierend auf die Io-Bahn, so dass sie dazu neigt, kreisförmiger zu werden, wie Beobachtungen der letzten 100 Jahre bestätigen. Zwar verhindern Störungen der Nachbarmonde Ganymed und Europa, dass die Bahn dauerhaft eine exakte Kreisform annimmt, aber ob sie in der Lage sind, entgegen der Gezeitenwirkung von Jupiter die Bahn wieder elliptischer zu machen, ist unklar. David STEVENSON, Planetenforscher am California Institute of Technology, mutmaßt dies zwar aufgrund der hohen Aktivität des Io, legt dafür aber keine Berechnungen vor. Kann es stattdessen sein, dass ein noch unbekanntes Ereignis Io vor nicht allzu langer Zeit „aus der Bahn geworfen“ hat? Es gilt festzuhalten: Wir treffen Io offensichtlich zu einem besonderen Zeitpunkt in seiner Existenz an.



Titan – Der Saturnmond mit dem Methanüberschuss

Der zweitgrößte Mond im Sonnensystem ist der Saturnmond Titan. Es ist der erste Mond neben unserem eigenen, auf dem eine Raumsonde gelandet ist: Huygens, die angedockt an der Saturnraumsonde Cassini mitgeflogen ist und am 14. Januar 2005 auf Titan landete. Auf Titan gibt es erstaunlich viel Methan. Bei einer Oberflächentemperatur von -180°C bildet dieses Methan sogar Seen und Flüsse, die täuschend echt wie irdische Seen und Flüsse aussehen. Das Methan regnet aus Wolken ab, die aus einem Gemisch aus Kohlenwasserstoffen bestehen, von denen Methan das einfachste ist.

Und genau deswegen sind die Forscher verunsichert. Denn die einfachen Kohlenwasserstoffe sind nicht lange stabil, sondern verbinden sich auf Dauer durch Sonnenstrahlung zu komplexeren. Dies wiederum bedeutet, dass es entweder eine stetige Quelle geben muss, die die Atmosphäre des Titan mit frischem Methan anreichert, oder dass ein noch unbekanntes besonderes Ereignis für das Vorhandensein dieses Methans verantwortlich ist, und wir den Titan gerade in dieser Sondersituation vorfinden.

Es wurden verschiedene Mechanismen vorgeschlagen, die für ein kontinuierliches Anreichern der Titanatmosphäre mit Methan

Abb. 3 Enceladus, der vierzehnte Saturnmond, ist mit einem Eispanzer bedeckt (großes Bild) und sprüht aus mehreren Vulkanen am Südpol Eis in den Weltraum (kleines Bild). (NASA 2005)

verantwortlich sein könnten. Das Hauptproblem dabei ist, dass dafür Quellen aus dem Inneren des Titan z.B. in der Form von Methanvulkanen benötigt werden. Dieser Versuch einer Erklärung scheint aber eher auf Wunschdenken als auf Tatsachen zu beruhen. So schreibt zum Beispiel Jeff MOORE vom NASA Ames Research Center (MOORE 2011): „Alle Landformen auf Titan, die eindeutig identifizierbar sind, können durch exogene Prozesse erklärt werden (Wind, Strömung, Einschlagskrater, Massenbewegung). Für frühere mutmaßliche Erklärungen mit Hilfe von endogen produzierten Formationen und Flüssen durch Eisvulkanismus gibt es keine eindeutig überzeugenden Beweise.“¹ MOORE stellt sich damit vehement gegen Rosaly LOPES vom NASA Jet Propulsion Laboratory, das seit Jahren genau diese Eisvulkantheorie vertritt, allerdings ehrlich einräumt, dass es dafür keine eindeutigen Beweise gibt (LOPES 2011). Wenn MOORE Recht behält, ist es in der Tat sehr wahrscheinlich, dass das Vorkommen von Methan auf Titan nur vorübergehend ist und wir auch Titan in einer besonderen Situation vorfinden.

Enceladus – Der hyperaktive Eismond

Ein weiterer Saturnmond sorgt für Aufsehen: Enceladus (Abb. 3), bedeckt mit einem Eispanser, sprüht aus mehreren Geysiren an seinem Südpol Eis in den Weltraum und speist damit den äußersten Saturnring, den E-Ring. Die Geysire haben eine Leistung von etwa 16 Gigawatt und genau da liegt das Problem: Die Energie, die durch Radioaktivität und Gezeitenwirkung des Saturn im Inneren von Enceladus freigesetzt wird, reicht maximal für ein Zehntel dieser Leistung, wenn sie dauerhaft erbracht werden soll. Somit kann Enceladus die aktuelle Leistung nur vorübergehend erbringen. Was verursacht die ungewöhnliche Aktivität? Eine Erklärung lautet, dass die Gezeitenwirkung des Saturn das Innere des Enceladus über längere Zeit aufheizt, es ist die Rede von 100 Millionen Jahren. Irgendwann bringt diese Energie dann den Eispanser an dünner Stelle zum Schmelzen und entlädt sich fast explosionsartig in Form von Geysiren. Danach heizt die Gezeitenwirkung das Innere erneut auf (O'NEILL 2010).

Diese Erklärung ist aber problematisch, weil die Entladungszeiträume aufgrund der Entladungsgeschwindigkeit viel kürzer sind als die Aufladungszeiträume. Somit erwischen wir Enceladus gerade während einer besonderen Periode, denn der Mond wäre im größten Teil seiner Existenz ohne Geysire. Es gibt zwar noch alternative Erklärungen für das Vorhandensein der Geysire, doch diese führen zum gleichen Schluss: Wir sehen Enceladus in einer der kurzen aktiven Phasen und das ist nicht normal.

Diskussion

Viele Fragen sind offen und weitere Beobachtungen und Forschung werden sicherlich neue Erkenntnisse bringen. Es sieht aber stark danach aus, dass es in der Tat zu viele Zufälle gibt: Die Farbe und Feinstruktur der Saturnringe, die ungewöhnlich hohe Aktivität des Io, die Geysire des Enceladus und das Methan auf Titan. Zwar gibt es für jeden Einzelfall Erklärungsansätze (wenn auch keine gesicherten Erklärungen), aber das gleichzeitige Vorkommen all dieser Phänomene schreit förmlich nach einem gesamtheitlichen Erklärungsansatz, der diese scheinbar unabhängigen Ereignisse verbindet.

Hatten die Ringe des Saturn noch keine Zeit, zu verschmieren oder dunkel zu werden? Hatte das Methan des Titan noch keine Zeit, sich abzubauen?

Eine mögliche Erklärung wäre, dass das Sonnensystem maximal so alt ist wie die typischen Zeitskalen der hier beschriebenen Sonderereignisse und damit wesentlich jünger als bislang angenommen. In diesem Fall relativiert sich die Besonderheit der besprochenen Beobachtungen schnell. Die Ringe des Saturn hatten noch keine Zeit, zu verschmieren oder dunkel zu werden. Das Methan des Titan hatte noch keine Zeit, sich abzubauen. Io befindet sich noch auf dem Weg zu einer stabilen Kreisbahn. Und die Geysire des Enceladus sprühen einmalig den Energieüberschuss aus der Entstehungszeit ab.

Ein anderer Erklärungsansatz wäre, wenn es unabhängig vom Gesamtalter des Sonnensystems in der jüngsten Vergangenheit eine größere Katastrophe im Sonnensystem gab, die für die Entstehung der Saturnringe, die Geysire und eventuell auch für den Eispanser auf Enceladus, das Methan auf Titan und die Hyperaktivität auf Io verantwortlich wäre. Und vielleicht noch für viele andere Phänomene, wie die eindrucksvollen Spuren von Wasserwirkung auf Mars oder die stark einseitige Kraterbildung auf Triton, dem größten Mond des Planeten Neptun, sowie auf unseren eigenen Mond. Die gängige Theorie zur Entstehung des Sonnensystems geht zwar davon aus, dass es eine solche Katastrophe gab, aber sie datiert dieses „Große Bombardement“ in die frühe Phase des Sonnensystems vor mehreren Milliarden Jahren. Die hier besprochenen Beobachtungen könnten ein Hinweis dafür sein, dass man stattdessen nach einer Katastrophe suchen sollte, die erst kürzlich passiert ist. Eine naheliegende mögliche Erklärung wäre das Auseinanderfallen eines ehemaligen Planeten zwischen Mars und Jupiter, wo nun Asteroiden

ihre Bahnen ziehen. Zwar gehen die meisten Astronomen davon aus, dass hier nie ein Planet war, sondern dass Jupiter durch gravitative Störungen die Bildung eines Planeten zwischen Mars und Jupiter verhindert hätte, aber vielleicht ist es auch an der Zeit, diese Sichtweise neu zu überdenken. In diesem Zusammenhang ist sicherlich erwähnenswert, dass die Mehrzahl der Asteroiden wasserhaltig ist und Asteroiden oft als Lieferant für das Wasser der Erdozeane angesehen werden. Diese Wasserhaltigkeit könnte als Hinweis darauf gewertet werden, dass Asteroiden durch dieselbe Katastrophe entstanden sind, die für die hier besprochenen ungewöhnlichen Ereignisse verantwortlich wäre.

Literatur

- CUZZI JN et al. (2010) An evolving view of Saturn's dynamic rings. *Science* 327, 1470-1475.
- LAINÉ V, ARLOT JE, KARATEKIN Ö & VAN HOOUST T (2009) Strong tidal dissipation in Io and Jupiter from astrometric observations. *Nature* 459, 957-959.

LOPES RMC et al. (2011) Cryovolcanism on Titan: a re-assessment in light of new data from Cassini RADAR and VIMS. *EPSC Abstracts* 6, 303.

McKEE M (2013a) Caught in the act. <http://www.nature.com/news/planetary-science-caught-in-the-act-1.12324>

McKEE M (2013b) In flagranti im Sonnensystem. <http://www.spektrum.de/alias/himmelskoerper/in-flagranti-im-sonnensystem/1184206>

MOORE JM & ROBERT TP (2011) Titan: An exogenic world? *Icarus* 212, 790-806.

O'NEILL C & NIMMO F (2010) The role of episodic overturn in generating the surface geology and heat flow on Enceladus. *Nat. Geosci.* 3, 88-91.

Anmerkung

- ¹ Übersetzung ins Deutsche durch den Autor. Der englische Originaltext lautet: „All landforms on Titan that are unambiguously identifiable can be explained by exogenic processes (aeolian, fluvial, impact cratering, and mass wasting). Previous suggestions of endogenically produced cryovolcanic constructs and flows have, without exception, lacked conclusive diagnostic evidence.“

Molekulare Konvergenzen in unerwartetem Ausmaß

Dass ähnliche Strukturen bei Lebewesen unabhängig (konvergent) entstehen können, ist lange bekannt und die Beispiele dafür nehmen rasant zu, so dass es immer problematischer wird, anhand von Bauplanähnlichkeiten stammesgeschichtliche Beziehungen zu ermitteln. Die Ergebnisse einer groß angelegten Studie legen nahe, dass die Konvergenzen auch im molekularen Bereich erheblich sein können.

Reinhard Junker

Man hat sich daran gewöhnt: Viele ähnliche morphologische (gestaltliche) Merkmale oder Fähigkeiten nicht näher verwandter Organismen sind mehrfach unabhängig entstanden. Dieses Phänomen wird als Konvergenz bezeichnet. Eigentlich gelten Bauplanähnlichkeiten als Hinweis auf gemeinsame Abstammung (man spricht dann von Homologien), aber es gibt so viele Ausnahmen, dass strukturell homologe Ähnlichkeiten nicht mehr ohne weiteres als Belege für gemeinsame Abstammung gewertet werden können (viele Beispiele z. B. unter <http://www.thegreatstory.org/convergence.pdf> und www.mapoflife.org; vgl. BRAUN 2012)

Durch die taxonomische Forschung in der Biologie sind viele vormals als Homologien interpretierte Ähnlichkeiten durch Gewinnung

neuer Daten zu Konvergenzen „mutiert“. Die Daten, die zu Neubewertungen führten, stammen oft (aber nicht nur) aus der Molekularbiologie. Sequenzvergleiche von Proteinen und Genen und neuerdings ganzer Genome (komplettes Erbgut eines Individuums) ergaben in zahllosen Fällen Ähnlichkeitsbeziehungen, die sich deutlich von den Merkmalsmustern unterscheiden, die auf morphologischen Merkmalen beruhen. Heute weiß man, dass es verbreitet Konflikte „Morphologie versus Moleküle“ gibt. Da in Konfliktfällen den molekularen Daten in der Regel größeres Gewicht eingeräumt wird, müssen die widersprechenden morphologischen Merkmale konvergent entstanden sein.

Mittlerweile hat sich herausgestellt, dass Konvergenzen auch im molekularen Bereich