

Strategien, um sich übers Wasser bewegen zu können (Abb. 1). Sie kombinieren dabei Fortbewegungsmechanismen, die sonst entweder von kleineren oder von größeren Tieren benutzt werden, zu einem erfolgreichen Mix. Die Autoren der Studie regen an, das Design des Geckos bei der Bewegung auf Wasser als Beispiel zu nehmen, um Roboter zu entwerfen, die sowohl auf Land als auch auf Wasser laufen können!

[NIRODY ET AL. (2018) Geckos Race Across the Water's Surface Using Multiple Mechanisms, *Current Biology*, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.10.064> • JUNKER R (2005) Noch ein „Wasserläufer“: die Jesus-Echse. *Stud. Int. J.* 12, 41–46 • GAO X & JIANG AL (2004) Biophysics: Water-repellent legs of water striders. *Nature* 432, 36] H.-B. Braun

■ Elektrostatik und der Ursprung des Sonnensystems

Die Nebularhypothese, die zuerst von dem französischen Rationalisten Pierre-Simon Laplace im 18. Jahrhundert vorgeschlagen wurde, ist immer noch die aktuelle Standard-Erklärung für den Ursprung unseres Sonnensystems. Danach ist das Sonnensystem durch den gravitationellen Kollaps einer Gas- und Staubwolke entstanden, was zu einer ähnlichen Struktur wie die heute beobachtbaren Saturnringe geführt haben soll (BRASSER & MOJZSIS 2020). Obwohl die Nebularhypothese weithin akzeptiert ist, gibt es immer noch Probleme, die die Astronomen bisher nicht lösen konnten, zum Beispiel die Ausrichtung der Rotationsachse der Planeten. Die Rotationsachse der meisten Planeten im Sonnensystem ist nämlich mehr oder weniger geneigt. Bei der Erde beträgt die Neigung 23 Grad und sie ist für die Jahreszeiten verantwortlich. Nach der Nebularhypothese müssten alle Planeten um einen Stern in gleicher Weise geneigt sein. Das ist aber nicht der Fall. Um diese Unterschiede zu erklären, müssen Ad-hoc-Hypothesen wie das Passieren von anderen Himmelskörpern und Kollisionen mit ihnen aufgestellt werden.

Die klassische Schwäche dieser Theorie ist jedoch, dass sie nicht erklärt, wie Staub und Gas kollabieren und sich zu größeren Körpern zusammenlagern konnten, sodass die Schwerkraft sie zu Planeten zusammenschmieden konnte. Wenn die frühen Proto-Planeten unseres Sonnensystems mit den Ringen des Saturn vergleichbar sind, ist die Nebularhypothese in großen Schwierigkeiten. Denn Planetenforscher haben entdeckt, dass die Ringe des Saturn nicht zu immer größeren Körpern werden, sondern im Laufe der Zeit verschwinden. Neue Daten belegen sogar, dass sie für kosmische Verhältnisse sehr schnell verschwinden (PAILER 2019). Die Beobachtungen der Cassini-Huygens-Raumsonden, die vor wenigen Jahren am Saturn vorbeiflogen, deuten darauf hin, dass das gesamte Ringsystem in maximal 300 Millionen Jahren verschwunden sein wird (O'DONOGHUE et al. 2019). Anstatt neue Monde zu bilden, werden sich die Ringe auflösen und von Saturn absorbiert werden.

Nach der Nebularhypothese bestehen die allerersten Planetensamen aus mikrometergroßen Staubkörnern, die aneinanderstoßen und zu winzigen Körperchen zusammenwachsen, bis sie sich zu größeren Klumpen verdichten. Dabei ist aber problematisch, dass die Schwerkraft eine sehr schwache Kraft und nicht in der Lage ist, Gase und Staub zu größeren Körpern zusammenzulagern. Wenn Staubklumpen von etwa einem Millimeter Größe kollabieren, werden sie wie Billardkugeln voneinander abprallen. Die Abprallkräfte sind größer als die Anziehungskraft der Schwerkraft und verhindern so die Verdichtung zu größeren Körpern. Simulationen und mathematische Analysen deuten darauf hin, dass sich in der inneren protoplanetaren Scheibe keine größeren Teilchen bilden könnten, um die zur Planetenbildung notwendige Zusammenlagerung zu fördern. Wie konnten sich also Planeten aus Staubringen bilden?

Da sich positiv und negativ geladene Teilchen viel stärker als die Schwerkraft gegenseitig anziehen,

vermuten Wissenschaftler der Universität Duisburg-Essen nun, dass elektrische Kräfte die Erzeugung von Planeten begünstigt haben (STEINPLIZ et al. 2019). Um zu untersuchen, wie sich fallende Objekte in der Mikrogravitation des Weltraums verhalten, nutzten sie den 120 Meter hohen Bremer Fallturm. Mit dem eingebauten Katapult des Turms schossen sie eine Vakuum-Kammer mit 0,4 Millimeter großen Glasperlen in Richtung Turmspitze und ließen sie dann fallen, wobei sie die Perlen mit einer in der Fallkammer installierten Hochgeschwindigkeitskamera beobachteten. Sie stellten fest, dass sich die Perlen durch statische Elektrizität elektrisch aufladen und in Bündeln von bis zu mehreren Zentimetern Durchmesser zusammenklebten. Die Forscher vermuten, dass zusammenstoßende und aneinanderreibende Partikel in Weltraum-Staubringen auf ähnliche Weise elektrisch geladen werden und Aggregate bilden können. Kollisionen zwischen Teilchen in einem Geschwindigkeitsbereich, der in protoplanetaren Scheiben zu finden ist, können Aggregate von mehreren Zentimetern Größe erzeugen; vorausgesetzt, dass es Partikel mit positiven und negativen elektrischen Ladungen gab, die durch Partikelkollisionen erzeugt wurden – auf ähnliche Weise wie im Fallturm. Die Aggregate können sich danach mit Hilfe der Schwerkraft noch weiter verklumpen und schließlich zu Planeten werden (O'DONOGHUE et al. 2019). Ob dies geschieht, hängt von den relativen Raten der Aufladung gegenüber der Entladung und der Partikelkollisionen gegenüber der Dispersion ab.

Auch wenn elektrische Kräfte zur Bildung größerer Staubsammlungen beitragen können, zeigen die allmählich verschwindenden Ringe des Saturn, die aus kleineren und größeren Trümmerblöcken bestehen, dass es nicht in jedem Fall zu einer weiteren Aggregation kommt. Es ist offensichtlich, dass die Aufklärung der Details der Beziehungen zwischen Aufladung und Aggregation in protoplanetaren Scheiben beträchtliche zusätzliche Studien erfordert (STEINPLIZ et al. 2019).

[BRASSER R & MOJZSIS SJ (2020) The partitioning of the inner and outer Solar System by a structured protoplanetary disk. *Nat. Astron.*, <https://doi.org/10.1038/s41550-019-0978-6> • PAILER N (2019) Das kurze Leben des Saturnrings. *Stud. Integr. J.* 26, 4–11 • O'DONOGHUE J, MOORE L, CONNERNEY J, MELIN H, STALLARD TS, MILLER S & BAINES KH (2019) Observations of the chemical and thermal response of 'ring rain' on Saturn's ionosphere. *Icarus* 322, 251–260 • STEINPILZ T, JOERI K, JUNG MANN F. et al. (2019) Electrical charging overcomes the bouncing barrier in planet formation. *Nat. Phys.*, [doi:10.1038/s41567-019-0728-9](https://doi.org/10.1038/s41567-019-0728-9)] P. Borger

■ Tanzende Neptunmonde

In unserem Sonnensystem birgt fast jede neue Entdeckung Überraschungen wie zum Beispiel das Magnetfeld von Merkur, Wasser auf dem Mars und auf dem Mond oder Asteroiden mit einer Atmosphäre. Dies zeigt, dass das gängige Verständnis des Ursprungs und der Beschaffenheit des Sonnensystems noch sehr limitiert ist. Eine Forschergruppe in USA (BROZOVIC 2019) entdeckte kürzlich ein weiteres interessantes Phänomen in den Bahnbewegungen einiger Monde des Planeten Neptun: Zwei der fünf inneren Monde tanzen förmlich umeinander herum, während sie gemeinsam um den Planeten rasen.

Neben dem schon 1846 entdeckten großen Mond Triton umkreisen 13 kleinere Monde diesen entfernten Gasplaneten am Rande unseres Sonnensystems, der etwa 30 Mal so weit von der Sonne entfernt ist wie die Erde. Sechs Monde befinden sich nahe am Neptun innerhalb der Umlaufbahn von Triton, die anderen viel weiter außen als Triton.

Bei den beiden besagten Monden handelt es sich um die beiden innersten Monde Naiad und Thalassa, die 67 bzw. 81 Kilometer groß sind. Sie bewegen sich in Bahnen, die nur ca. 50.000 km von Neptun entfernt sind. Neptun hat einen etwa ebenso großen Äquatordurchmesser, was die große Nähe verdeutlicht. Naiad braucht sieben Stunden, um Neptun zu umrunden, während Thalassa siebeneinhalb Stunden benötigt. Die beiden Bahnen sind nur 1.850 km voneinander entfernt, weshalb die

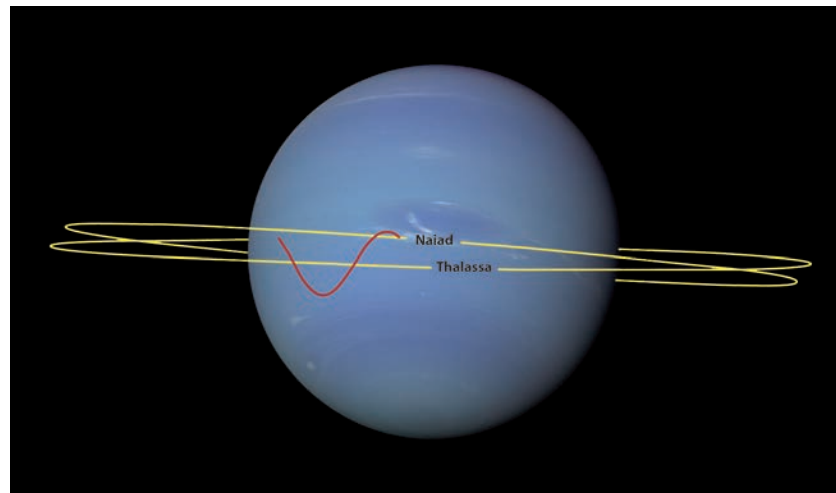


Abb. 1 Neptuns innerster Mond Naiad bewegt sich in Schlangenlinien um seinen Nachbarmond Thalassa, wie aus Daten des Weltraumteleskops Hubble hervorgeht. (© NASA/JPL)

beiden Monde sich gefährlich nahe kommen könnten und dabei gegenseitig ihre Umlaufbahn so stören, dass beide in den Neptun stürzen würden.

Aber genau das passiert nicht. Im Vergleich zu Thalassa ist die Umlaufbahn von Naiad um etwa fünf Grad geneigt. Dadurch verbringt Naiad die Hälfte ihrer Umlaufzeit über Thalassa und die Hälfte unter Thalassa in einer verknüpften Umlaufbahn, die mit keiner anderen bislang bekannten Beobachtung vergleichbar ist. „Wir bezeichnen dieses sich wiederholende Muster als Resonanz“, sagt die Physikerin Marina BROZOVIC vom NASA Jet Propulsion Laboratory in SCIENCEdirect (NIELD 2019). „Es gibt viele verschiedene Arten von Tänzen, die Planeten, Monde und Asteroiden ausführen können, aber dieser wurde noch nie zuvor gesehen.“

Die Umlaufbahnen der beiden kleinen Monde sind perfekt abgestimmt und so choreografiert, dass sie sich gegenseitig ausweichen. Etwa alle fünf Tage überrundet der etwas schnellere Naiad den Nachbarmond Thalassa. Wenn Sie auf Thalassa stationiert wären, würden Sie Naiad, wenn er Sie überholt, zweimal über sich sehen, dann zweimal unter sich. Die Forscher sagen, dass diese Manöver die Umlaufbahnen stabil halten, und sprechen von einem „Tanz der Vermeidung“.

„Wir freuen uns immer über solche gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Monden“, sagt Mark SHOWALTER vom SETI-Institut (NIELD 2019). „Naiad und Thalassa

sind in dieser Konfiguration wahrscheinlich schon seit langer Zeit zusammengeschlossen, weil dadurch ihre Umlaufbahnen stabiler werden. Sie bewahren den Frieden, indem sie sich niemals zu nahe kommen.“ Da Naiad Thalassa ca. alle 5 Tage überrundet, kommt es schon in weniger als 1.400 Jahren zu 100.000 potenziell kritischen Begegnungen der beiden Monde.

Das Team verwendete Daten, die zwischen 1981 und 2016 von Teleskopen auf der Erde, Voyager 2 und dem Hubble-Weltraumteleskop gesammelt wurden, um zu bestimmen, wie Naiad und Thalassa den Eisriesen umrunden. Auf die spannende Frage, wie es zu dieser Konstellation gekommen ist, mutmaßen die Forscher, dass der große Mond Triton dabei eine Rolle gespielt haben könnte. Welche Rolle das ist, ist allerdings unsicher. Die beiden Monde könnten beim Einfangen des Mondes Triton durch Neptun und die um 5° geneigte Bahn von Naiad durch spätere Störungen von weiteren Triton-Überbleibseln entstanden sein.

[BROZOVIC M et al. (2019) Orbits and resonances of the regular moons of Neptune. *Icarus* 338, Article 113462 • BROZOVIC M et al. (2019) Orbits and resonances of the regular moons of Neptune. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1910/1910.13612.pdf> • NIELD D (2019) NASA Has Detected Weird Orbital Movement From Two of Neptune's Moons. <https://www.sciencealert.com/neptune-s-moons-are-caught-in-one-of-the-weirdest-orbits-ever-seen> • NASA Jet Propulsion Laboratory (2019) Neptune Moon Dance (animation). <https://youtu.be/WEsISZtIDyl>] P. Korevaar