

Asteroiden mit unerwarteten Ringen

Hinweise auf Kurzzeitphänomene im Sonnensystem

Unser Sonnensystem mit seinen Planeten, Monden, Asteroiden und Kometen ist immer wieder gut für Überraschungen. Und das, obwohl es seit Jahrzehnten sowohl von der Erde aus als auch mit Hilfe vieler Raumsonden intensiv erforscht wird. Oder vielleicht gerade deswegen? Von keinem anderen Teil des Universums liegen so detaillierte Beobachtungen vor. Passt ein Befund nicht zu den gängigen Vorstellungen über Entstehung und Beschaffenheit des Sonnensystems, spricht man von einer Anomalie. Astronomen versuchen, solche Anomalien durch Modellanpassungen zu erklären. Dies gelingt nicht immer. Ein besonders brisanter Fall ist der völlig unerwartete Befund, dass einige Asteroiden Ringe besitzen.

Peter Korevaar

Abb. 1 Künstlerische Darstellung vom Zwergplaneten Quaoar mit seinem Ring. (© ESA, CC BY-SA 3.0 IGO)

Mit einem Stern* versehene Begriffe werden im Glossar erklärt.

Wer kennt ihn nicht: Den Saturn, den 6. Planeten in unserem Sonnensystem mit seinem eindrucksvollen Ringsystem (Abb. 2). Die Saturnringe sind sehr gut erforscht. Dennoch können die Astronomen nicht eindeutig die Fragen beantworten, wie alt die Ringe sind, woher sie stammen und wie lange es sie noch geben wird. Die Gezeitenwirkung* von Saturn sorgt dafür, dass Objekte, die dem Saturn zu nahekommen, auseinandergerissen werden. Insbesondere gilt dies für Objekte, die keine eigene Festigkeit aufweisen und nur durch die Eigengravitation zusammengehalten werden. Da die Saturnringe größtenteils aus Wassereis bestehen, ist diese Erklärung für die Entstehung der Ringe plausibel, womit aber noch nicht die Frage beantwortet ist, woher die Eisbrocken kamen, die dann von Saturn zu Ringen umgewandelt wurden. Falls es sich um eingefangene Eisasteroiden handelt, ist es merkwürdig, dass Jupiter kein ähnliches Ringsystem besitzt, obwohl die Anziehungskraft von Jupiter deutlich größer ist als die des

Saturns und obwohl Jupiter sich viel näher am Asteroidengürtel befindet.

Die Gasplaneten Jupiter, Uranus und Neptun besitzen ebenfalls Ringsysteme, diese sind jedoch im Vergleich zum Ringsystem von Saturn kaum ausgeprägt und nur mit Hilfe von leistungsstarken Teleskopen oder Raumsonden beobachtbar. Diese Ringsysteme bestehen nicht aus Wassereis, sondern aus dunklen Gesteinsbrocken. Es wird davon ausgegangen, dass es sich in allen drei Fällen um eingefangene Asteroiden handelt, die durch die Gezeitenwirkung zerkleinert wurden.

Ringe um Asteroiden

Dass die Gesteinsplaneten Merkur, Venus, Erde und Mars kein Ringsystem besitzen, erklärt man gemeinhin dadurch, dass ihre Schwerkraft zu gering ist, um Objekte einzufangen. Und falls das doch geschieht, wie bei den beiden

Mars-Monden Phobos und Deimos, befinden sich diese dann zu weit vom Planeten entfernt, sodass die Gezeitenwirkung nicht ausreicht, um sie auseinanderzureißen und dadurch einen Ring zu bilden.

Bis 2013 war man überzeugt: Die Gesteinsplaneten, Monde und Asteroiden können keine Ringe haben.

Bis 2013 schien damit alles zu den Ringsystemen gesagt zu sein. Dann entdeckte man, dass der Asteroid Chariklo (Abb. 3) zwei dicht nebeneinander liegende Ringe besitzt (BRAGA-RIBAS et al. 2014) – mit Breiten von ca. 7 km bzw. ca. 3 km und mit Radien von 391 km bzw. 405 km. Damit hatte niemand gerechnet, da man wie oben erklärt, bis dahin generell davon ausging, dass nur große Planeten in der Lage sein sollten, Ringe zu bilden und stabil um sich zu halten. Chariklo hat einen Durchmesser von nur 248 km und die beiden Ringe befinden sich nahe der Roche-Grenze*. Innerhalb dieser Grenze ist die Gezeitenwirkung des zentralen Objektes stärker als die Eigengravitationswirkung von Satelliten. Dreht loses Material um das zentrale Objekt, wird es innerhalb der Roche-Grenze ringförmig um das zentrale Objekt verschmiert; außerhalb der Roche-Grenze klumpt es aufgrund der Eigengravitation zusammen. Hat das Material zusätzlich eine eigene Festigkeit, kann es auch innerhalb der Roche-Grenze zusammenbleiben.

Entdeckt haben die Wissenschaftler die Ringe nicht direkt, denn selbst die leistungsfähigsten Teleskope können sie in der großen Entfernung nicht optisch erfassen. Stattdessen nahmen sie Sternbedeckungen zu Hilfe: Dabei wurden mit Teleskopen die Helligkeitsschwankungen von Sternen erfasst, während Chariklo an ihnen vorbeizog.

Aus Spektralanalysen während der Sternbedeckung wird abgeleitet, dass die Ringe von Chariklo zumindest teilweise aus Wassereis bestehen, genau wie die Saturnringe. Die Ringe von Chariklo sind allerdings nicht stabil. Durch Kollisionen der Ringtrümmer untereinander diffundieren die Ringe auf einer Zeitskala von einigen Tausend Jahren. Eine längere Lebensdauer wäre nur möglich, wenn ein weiteres Objekt in größerer Entfernung um Chariklo mit einer Masse vergleichbar zur Gesamtmasse der Ringe kreiste. Ein solches Objekt ist aber bislang nicht beobachtet worden. Verschiedene Entstehungsszenarien für die Ringe werden diskutiert, die mit Einschlägen auf Chariklo zusammenhängen. Solche Einschläge müssen mit einer Geschwindigkeit von weniger als 0,1 km/s erfolgt sein, da das Auswurfmaterial auf-

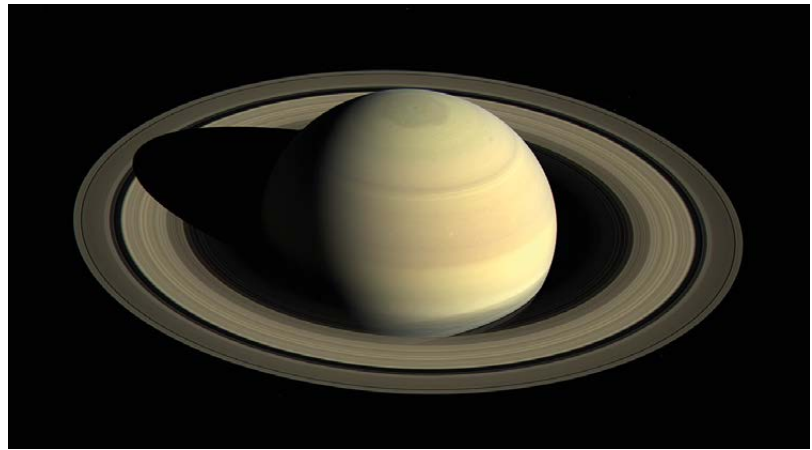


Abb. 2 Darstellung des Saturns mit seinen Ringen. (NASA/JPL-Caltech/SSI, CCO)

grund der geringen Anziehungskraft von Chariklo sonst entweichen würde, statt einen Ring zu bilden.

Es blieb aber nicht bei diesem einen Fund. Ein Jahr später stellte man fest, dass der Asteroid Chiron mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls einen Ring besitzt (ORTIZ et al. 2015). Chiron ist etwas kleiner als Chariklo. Chiron und Chariklo gehören beide zu einer speziellen Gruppe von Asteroiden, den Zentauren, die sich zwischen Saturn und Neptun bewegen. Chariklo und Chiron sind die beiden bislang größten dieser Zentauren. Der Ring von Chiron ist den Ringen von Chariklo sehr ähnlich: Er besteht teilweise aus Wassereis und befindet sich nahe der Roche-Grenze. Folglich gehen die Astronomen davon aus, dass die Ringsysteme auf ähnliche Art entstanden sind.

Innerhalb weniger Jahre wurden vier kleine Objekte im Sonnensystem entdeckt, die von einem oder mehreren Ringen umgeben sind.

Aber damit nicht genug: Auch Haumea, ein Zwergplanet im Kuiper-Gürtel* jenseits der Neptunbahn, hat einen Ring (ORTIZ et al. 2017). Haumea (Abb. 4) ist auch sonst ein besonderes Objekt: Er ist länglich statt rund, dreht in nur 4 Stunden um seine eigene Achse, und wird von zwei kleinen Monden begleitet. Der Ring befindet sich deutlich innerhalb der Roche-Grenze. Haumea ist ca. zehnmal größer als Chariklo und Chiron.



Abb. 3 Künstlerische Darstellung des Asteroiden Chariklo mit Ring. (Lucaso231, GPLv2)



Abb. 4 Künstlerische Darstellung des Asteroiden Haumea mit Ring. (Kevin Gill, CC BY 2.0)

Überraschung bei Quaoar

Und nun wurde eine erstaunliche neue Entdeckung gemacht: Quaoar, ein weiteres Objekt im Kuiper-Gürtel, besitzt ebenfalls einen Ring (MORGADO et al. 2023).

Ebenso wie bei Chariklo und Chiron führten Analysen von Sternbedeckungen zur Entdeckung des Ringes. Die Berechnungen des Teams um MORGADO zeigten, dass der Ring den Himmelskörper weit außerhalb der Roche-Grenze umkreist. Dieser Befund kam für die Astronomen völlig überraschend. Denn in dieser Entfernung sollte sich nach gängigem Verständnis das Material zu einem Mond zusammen-

klumpen, statt einen Ring zu bilden. Die Roche-Grenze von Quaoar wird auf ca. 1800 km geschätzt, der Ring befindet sich in ca. 4100 km Entfernung. Quaoar selbst hat einen Radius von ca. 550 km (Abb. 1). Folglich befindet sich der Ring ca. 7,4 Quaoar-Radien vom Zentrum von Quaoar entfernt. Außerdem besitzt Quaoar einen Mond, Weywot, der den Himmelskörper in einer Entfernung von ca. 24 Quaoar-Radien umkreist. Ring und Mond befinden sich in einer Ebene. Die Astronomen gehen davon aus, dass beide gleichzeitig entstanden sind.

Der Ring von Quaoar widersetzt sich den bisherigen Erklärungsversuchen, weil sein Radius dafür mehr als doppelt so groß ist.

In ihrer Publikation diskutieren die Autoren um MORGADO mögliche Erklärungsansätze, die vor allem darauf abzielen zu erklären, wie ein Ring lange Zeit überdauern kann, obwohl es sich grundsätzlich um ein vorübergehendes Phänomen handeln soll. Dieser Erklärungsnotstand entsteht dadurch, dass das Sonnensystem nach gängigem Verständnis mehrere Milliarden Jahre alt sei. Die erste Möglichkeit ist, dass es sich um Trümmer einer Kollision handelt. Dies halten die Autoren allerdings für sehr unwahrscheinlich. Denn es würde nur wenige Jahrzehnte dauern, bis sich das Material wieder zusammenfindet. Als zweite Möglichkeit wird diskutiert, dass das Ringmaterial elastisch ist, wodurch die Partikel bei Kollisionen nicht zusammenkleben, sondern voneinander abprallen. Auch dies scheint ziemlich unwahrscheinlich, da weder Steine noch Wassereis – aus dem Ringe normalerweise bestehen – diese Eigenschaft besitzen. Eine dritte Möglichkeit ist, dass der Mond Weywot das Zusammenklumpen des Ringmaterials durch gravitative Störungen verhindert. Diese Erklärung halten die Autoren für plausibel, räumen aber auch ein, dass weitere Beobachtungen und theoretische Untersuchungen notwendig sind, um diese Erklärung zu bestätigen. Ein weiterer Befund könnte relevant sein: Der Ring befindet sich in einer solchen Entfernung, dass die Umlaufzeit der Ringteile eine 3:1-Resonanz mit der Rotation von Quaoar hat. Dies ist ebenso der Fall bei den Ringen von Chariklo und Haumea. Weitere theoretische Untersuchungen sollen helfen zu verstehen, ob und wie dieser Befund eine Rolle bei der Stabilisierung des Ringsystems spielt. Insgesamt erhoffen sich die Astronomen von Entdeckungen von Ringsystemen um Asteroiden bessere Einsichten über die Bildung von Ringen allgemein, inklusive der bekannten Saturnringe.

Glossar

Gezeitenwirkung: Die Gezeitenwirkung von Himmelskörpern wird durch ihre Gravitationskraft auf nahegelegene Objekte verursacht. Wenn beispielsweise ein Planet und sein Mond sich nahe genug kommen, übt der Planet eine unterschiedliche Gravitationskraft auf den näheren und den entfernteren Teil des Mondes aus. Dies führt zu einem Kräfteunterschied, der den Mond – je nach eigener Festigkeit des Mondmaterials – verformen und sogar auseinander ziehen kann.

Roche-Grenze: Die Roche-Grenze ist die kritische Entfernung zwischen zwei Himmelskörpern, bei der die Gezeitenkräfte des größeren Himmelskörpers so stark werden, dass sie den kleineren Himmelskörper auseinanderreißen können. Die Roche-Grenze hängt von der Masse und der Dichte beider Himmelskörper ab. Wenn der Abstand zwischen den Himmelskörpern kleiner als die Roche-Grenze ist, übt der größere Himmelskörper eine stärkere Gezeitenkraft auf den kleineren Himmelskörper aus als die Eigengravitationskraft des

kleineren Himmelskörpers und zerreißt den kleineren Himmelskörper, wenn die eigene Festigkeit des kleineren Himmelskörpers zu gering ist.

Kuiper-Gürtel: Der Kuiper-Gürtel ist eine Region in unserem Sonnensystem, die sich jenseits der Umlaufbahn des Planeten Neptun befindet und sich etwa von 30 bis 50 Astronomischen Einheiten von der Sonne entfernt erstreckt. Eine Astronomische Einheit entspricht der durchschnittlichen Entfernung zwischen der Erde und der Sonne (ungefähr 150 Millionen Kilometer). Es handelt sich um eine Ansammlung von Objekten, die hauptsächlich aus Gestein und Eis bestehen und als „Transneptunische Objekte“ (TNOs) bezeichnet werden. Ein bekanntes Beispiel für ein TNO ist der Zwergplanet Pluto. Bis heute sind mehr als 3.000 Objekte im Kuiper-Gürtel entdeckt worden, die eine Größe von mindestens 100 Kilometern haben. Es wird jedoch angenommen, dass es in dieser Region des Sonnensystems viele weitere Objekte gibt, die noch nicht entdeckt wurden und kleiner als 100 Kilometer sind.

Es ist auffallend, dass immer wieder Entdeckungen im Sonnensystem gemacht werden, die gängige Entstehungstheorien in Frage stellen bzw. von ihnen nicht vorhergesagt wurden. Die Existenz von Ringen um Asteroiden war schon unerwartet, ein Ring weit außerhalb der Roche-Grenze noch viel mehr. Insbesondere machen die kurzen Zeitskalen den Astronomen zu schaffen. Wenn die Ringsysteme nur einige Jahrtausende jung wären, würden die Befunde viel besser zu den theoretischen Vorstellungen von Entstehung und Lebensdauer solcher Ringe passen. Gemeinhin geht man von wesentlich längeren Zeitskalen aus. Hier liegt also ein klarer Hinweis vor, dass entweder das ganze Son-

nensystem deutlich jünger ist als gedacht oder dass es in jüngster Vergangenheit ein katastrophales Ereignis im Sonnensystem gab, das diese Ringsysteme verursachte.

Literatur

- BRAGA-RIBAS F et. al. (2014) A ring system detected around the Centaur (10199) Chariklo. *Nature* 508, 72–75.
- MORGADO BE et. al. (2023) A dense ring of the trans-Neptunian object Quaoar outside its Roche limit. *Nature* 614, 239–243.
- ORTIZ JL et. al. (2015) Possible ring material around centaur (2060) Chiron. *Astron. Astroph.* 576, A18.
- ORTIZ JL et. al. (2017) The size, shape, density and ring of the dwarf planet Haumea from a stellar occultation. *Nature* 550, 219–223.