

Der Störenfried Daphnis [19. Feb.]

Der *Riesenplanet Saturn* [1] ist für sein enormes und komplexes **Ringsystem** [1, 2, 3] bekannt. Bereits aus der Ferne bemerkt man, daß der Saturnring aus zahlreichen breiteren und schmalen Ringen besteht. Der *Gasplanet* [1] ist ebenfalls für seine enorme Anzahl von Monden bekannt, die bisher bestätigte Anzahl der Monde beträgt 62.

Hirtenmonde

Der Mond **Daphnis** oder *Saturn XXXV* [1] ist kein gewöhnlicher Saturnmond, vielmehr befindet er sich inmitten des Ringsystems des Riesenplaneten. Daphnis ist ein sog. **Schäfermond** oder **Hirtenmond** [1]. Bei Schäfermonden handelt es sich um kleine Monde der Gasplaneten, die die Lücken im Ringsystem bzw. die einzelnen Ringe auseinanderhalten.

Die Hirtenmonde besitzen aufgrund ihrer Masse eine gewisse gravitative Wirkung: sie können entweder Teilchen des Ringsystems aufsammeln oder von ihrer ursprünglichen Position im Ring ablenken bzw. neu anordnen.

Dies führt wahrscheinlich zu den bekannten Lücken im Saturnring, beispielsweise der bekannten **Cassini-Teilung** oder der *Encke-* bzw. **Keeler-Lücke** [1] (Abb. 1). Auf der anderen Seite können die Schäfermonde für **Verdrillungen bzw. Verformungen** im Ringsystem sorgen.

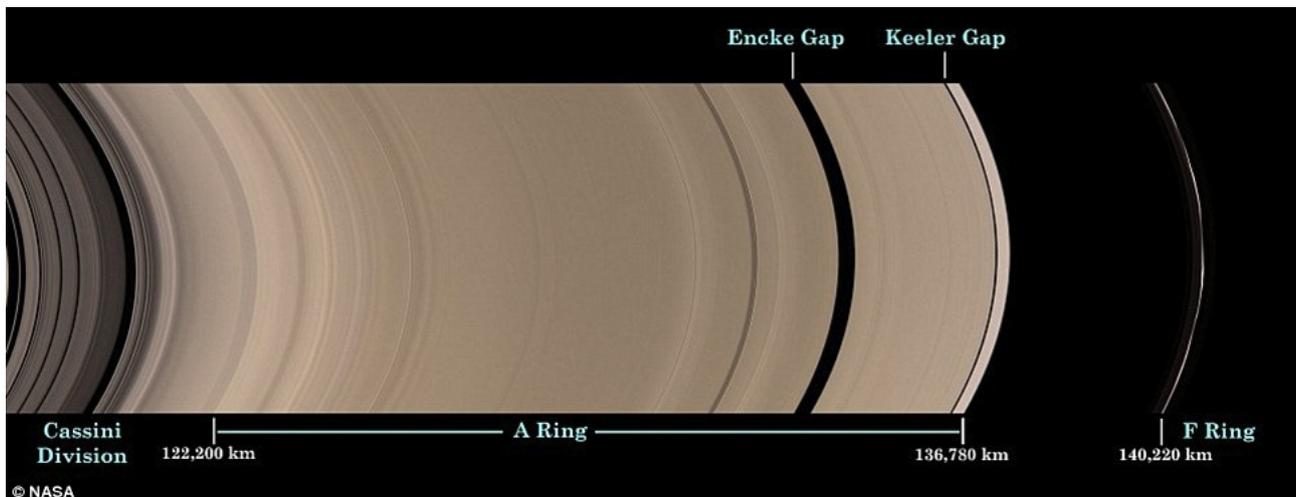


Abb. 1 Schematische Darstellung der bekannten Ringe und Lücken im Saturnring. Das Ringsystem des *Gasriesen* [1] Saturn ist durch zahlreiche (dunkle) Lücken unterbrochen; Beispiele hierfür sind die Cassini-Teilung (links), die Encke- und die Keeler-Lücke (rechts). Neben dem breiten *A-Ring* (Bildmitte) existieren andere Ringe wie der *F-Ring* (rechts).

© NASA

Der Ringplanet Saturn besitzt wahrscheinlich insgesamt **8 Hirtenmonde**: den Mond *Atlas* [1] im *A-Ring* [1], *Prometheus* und *Pandora* im *F-Ring* [1] (Abb. 1) sowie die inneren Monde **Daphnis**, *Pan*, *Janus*, *Epimetheus* und *Aegaeon* [1].

Daphnis und das Ringsystem

Daphnis ist der Schäfermond, der für die sog. **Keeler-Lücke** [1] verantwortlich ist und zudem der äußere von 2 Monden im A-Ring (Abb. 1). Daphnis befindet sich genau in der Mitte der Keeler-Lücke in einem Abstand von 136.500 Kilometern zum Ringplaneten. Die Keeler-Lücke besitzt eine Breite rund 30-40 Kilometern und liegt innerhalb des Randes des A-Rings. Der A-Ring ist der äußerste der hellen großen Ringe.

Der Hirtenmond wurde erst **im Jahr 2005** von der Saturnsonde *Cassini* [1] entdeckt. Die Existenz eines Mondes innerhalb dieser Lücke war zuvor vorausgesagt worden, jedoch konnte man den Mond aufgrund seiner geringen Größe, seiner geringen Helligkeit (24 mag [1]) und seiner Nähe zum hellen Planeten Saturn mithilfe von erdgebundenen Teleskopen nicht entdecken.

Die Wissenschaftler entdeckten den Mond Daphnis auf Aufnahmen, auf denen **Wellenmuster** am äußeren Rand der Lücke beobachtet wurden. Dabei eilen die Wellen am inneren Rand der Bahn des Mondes voraus, während die Wellen am äußeren Rand des Rings hinter dem Mond herlaufen. Grund hierfür sind unterschiedliche *Relativgeschwindigkeiten* [1] der Teilchen im Ring.

Der kleine Mond umkreist den Ringplaneten auf einer nahezu kreisförmigen Bahn in rund 14 Stunden 15 Minuten und 28,5 Sekunden. Der mittlere Abstand zum Ringplaneten beträgt rund 136.500 Kilometer, etwa 2,3 *Saturnradien* [1] bzw. etwa 73.200 Kilometer oberhalb der oberen Wolken-schicht.

Die **Bahn des Mondes** ist gegenüber dem *Saturnäquator* [1] leicht geneigt und bewirkt eine Variation der Mondbahn von einigen Kilometern. Die Bahnen der beiden Schäfermonde Pan und Atlas liegen nur 2,9 bzw. 1,2 Kilometer von der Daphnisbahn entfernt. Daphnis Durchmesser beträgt rund 8 Kilometer (9x9x6 Kilometer), das entspricht etwa der Höhe des *Mount Everest* [1].

Wellenmuster und Daphnis Aussehen

Die Wellenmuster bzw. stachelförmigen Strukturen am Rand der Keeler-Lücke waren bereits **im Jahr 2005** bemerkt worden und wiesen auf die Existenz eines Mondes.

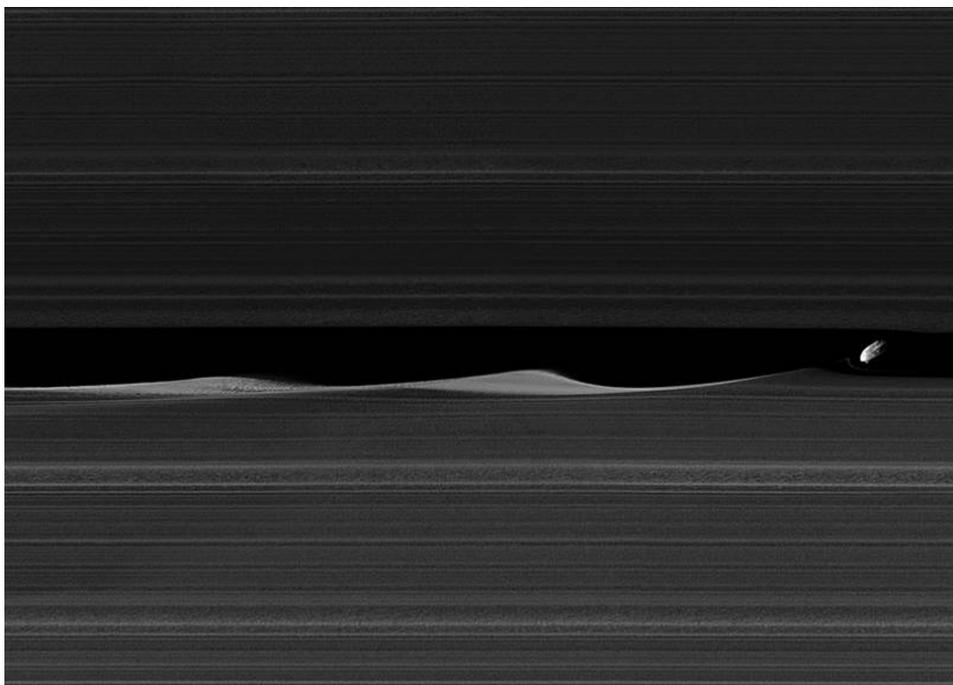


Abb. 2 Die Umgebung des Saturnmondes Daphnis im Bereich der Keeler-Lücke.
 Der kleine Saturnmond Daphnis wurde aufgrund seiner gravitativen Wirkung auf die Ränder der Keeler-Lücke entdeckt. Aufgrund seiner Anziehung verursacht er ein Wellenmuster der Lückenränder.

© NASA NASA/JPL-CalTech/SSI

Am **30. November 2016** unternahm die Saturnsonde Cassini einen neuen Anlauf zur Untersuchung des Hirtenmondes, indem sie nach einem Überflug des Nordpols in Richtung der äußeren Hauptringe flog. Mitte Januar tauchte Cassini durch die Ebene des Ringsystems, rund 28.000 Kilometer von Daphnis entfernt, um **neue hochaufgelöste Aufnahmen** der Region zu machen (Abb. 2, 3).

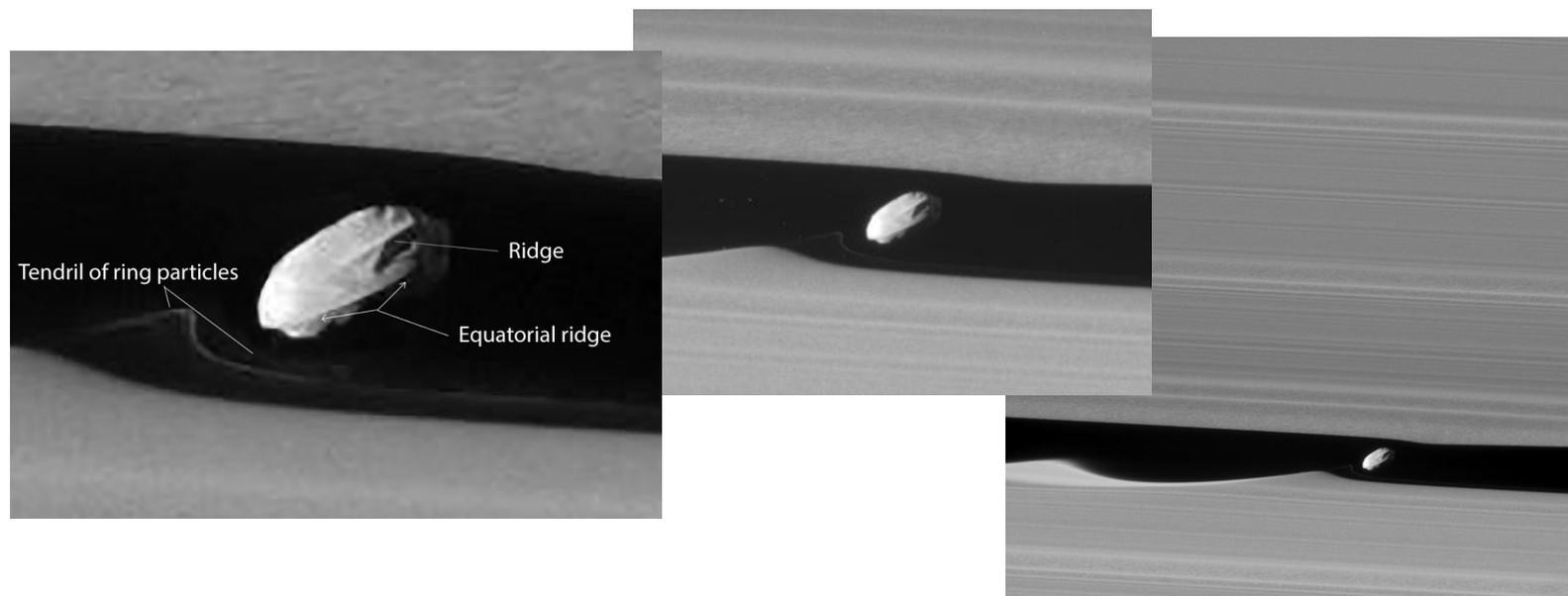


Abb. 3 Die Umgebung des Saturnmondes Daphnis im Bereich der Keeler-Lücke im Detail.

Die Detailaufnahmen bzw. Vergrößerungen der Umgebung des Saturnmondes Daphnis (rechts) zeigen die unterschiedliche Wellenstruktur, die die gravitative Anziehung des kleinen Hirtenmondes verursacht; in der Vergrößerung (links, Mitte) erkennt man wie eine dünne Struktur, die wahrscheinlich aus Ringpartikeln besteht (*Tendril of ring particles*), scheinbar von dem Mond angezogen wird; zudem sind rillenartige Strukturen (*Ridge*) auf der Mondoberfläche zu sehen, die ebenfalls von bereits aufgesammelten Ringpartikeln stammen könnten, die sich auf der Mondoberfläche abgesetzt haben.

© NASA NASA/JPL-CalTech/SSI

Schaut man sich Daphnis genauer an, fällt die **rillenartige Struktur an dessen Äquator** auf, die möglicherweise durch Ringpartikel entstanden sind, die der Mond während seines Umlaufs um den Gasplaneten aufgesammelt hat (Abb. 3). Eine weitere Rille befindet sich oberhalb der ersten. Das „weiche“ Aussehen des Mondes könnten durch die Akkumulation kleiner Eisteilchen aus dem Ring entstanden sein.

Ein weiterer Blick auf diese Aufnahme (Abb. 3, links) zeigt ein **dünnes wellenartiges Muster** zwischen dem unteren Rand des Rings und dem Mond selbst. Noch wissen die Wissenschaftler nicht, ob diese Struktur durch einen Materieklumpen entstand, der von der Anziehung des Mondes auseinandergerissen wurde. Es scheint als ahmt diese Struktur die wellenartige Form des Ringrands nach und taucht dabei tiefer in die Lücke ein.

Zudem zeigt die Aufnahme die **körnige Struktur des Saturnrings**. Cassini wird diese Struktur innerhalb der nächsten Monate näher untersuchen und noch höher aufgelöste Aufnahmen zur Erde senden.

Eistanz

Die Saturnringe bestehen aus unzähligen **kleinen Eispartikeln**, von denen sich jedes auf einer eigenen Bahn um den Gasriesen befindet. Das gesamte Ringsystem besitzt einen Durchmesser von rund 300.000 Kilometern, das entspricht etwa $\frac{3}{4}$ -tel der Strecke zwischen der Erde und unserem Mond, ist jedoch unglaublich flach. An einigen Stellen beträgt die Höhe des Ringsystems nur etwa 10 Kilometer, das entspricht der Höhe eines dreistöckigen Hauses!!!

Die Forscher sind überzeugt, daß die seltsamen Muster am Rand des Rings das Ergebnis der **Anziehung des Mondes auf die Ringpartikel** sind, gleichsam einem merkwürdigen Tanz zwischen Mond und Ringen. Dieser Tanz erzeugt die Störung, wenn sich der Mond durch die Keeler-Lücke bewegt und die horizontale und vertikale Ordnung der Ringteilchen durcheinanderbringt (Abb. 4).

Die folgenden Abbildungen geben einen künstlerischen Einblick in die Vorgänge zwischen dem Saturnmond Daphnis und den Rändern der Keeler-Lücke (Abb. 4):

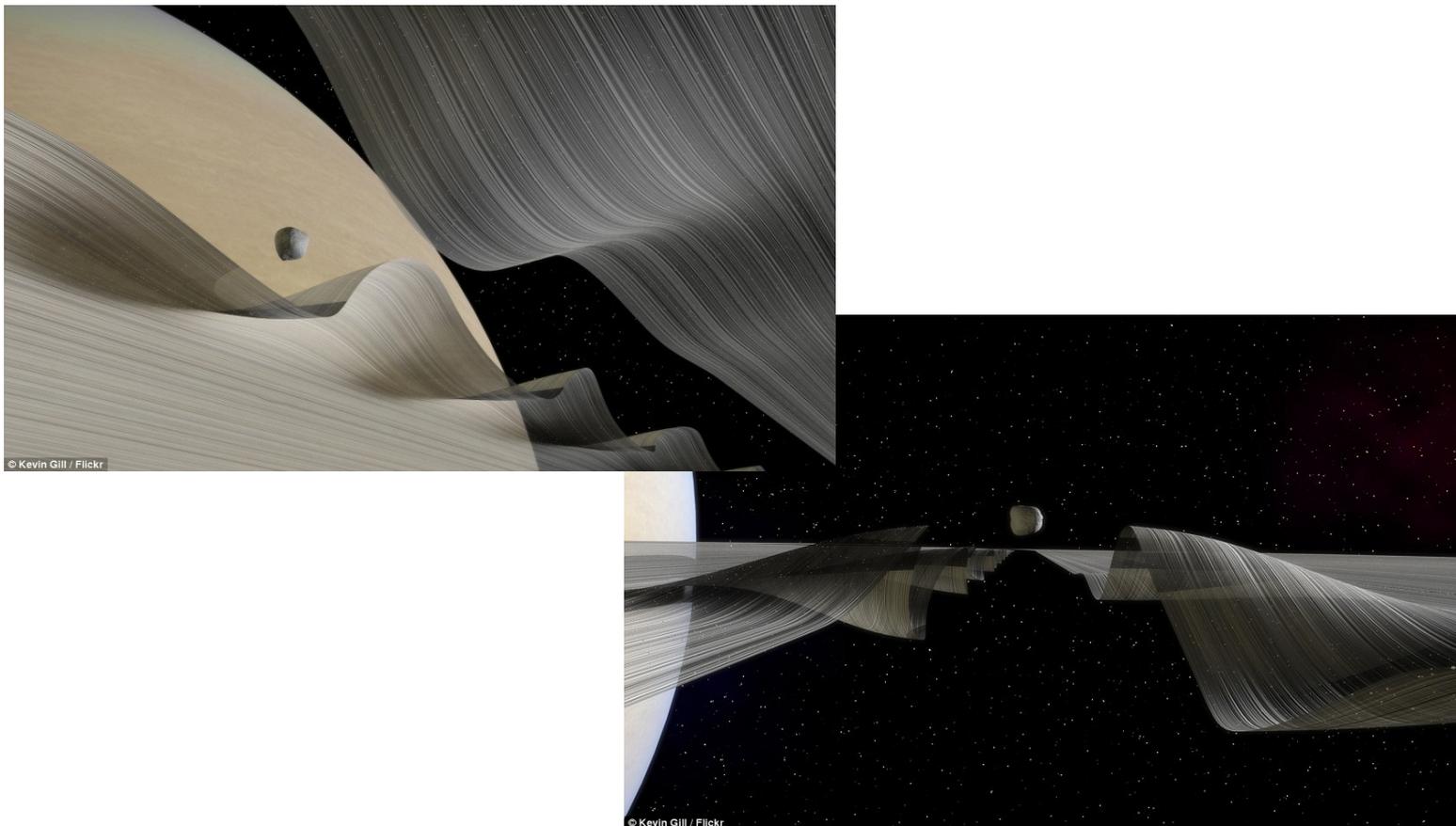


Abb. 4 Künstlerische Darstellung der Wechselwirkung zwischen dem Saturnmond Daphnis und den Partikeln nahe der Keeler-Lücke im Ringsystem des Gasplaneten.

Die Wellenmuster bzw. -strukturen an den Rändern der Keeler-Lücke gleichen Wasserwellen auf einem See, die von vorbeifahrenden Objekten verursacht werden. Dabei wechselwirkt der kleine Mond mit den Ringpartikeln sowie die randnahen Teilchen untereinander.

Eine weitere künstlerische Darstellung der **beobachteten Wellenmuster** im Saturnring:

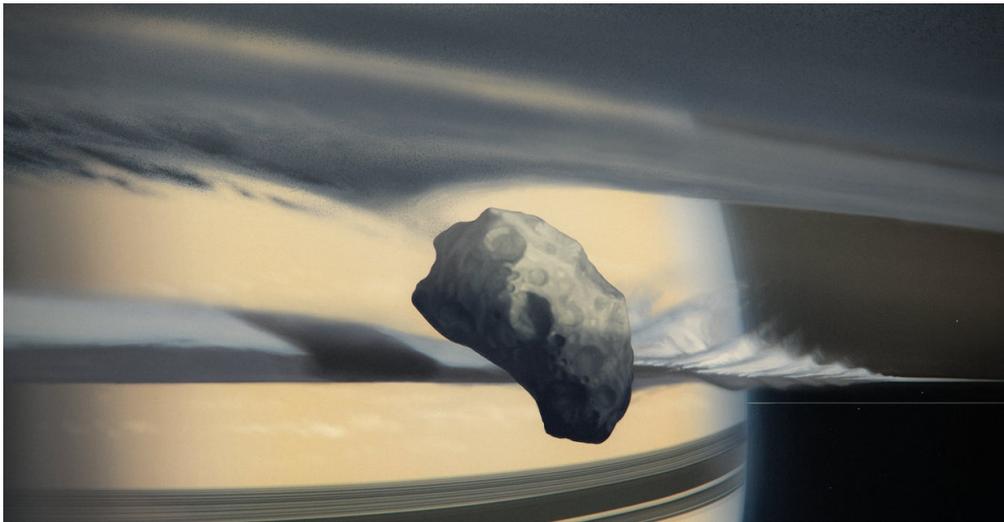


Abb. 5 Künstlerische Darstellung des Einflusses des Mondes Daphnis auf das Ringsystem des Gasplaneten.

Die Wirkung der Anziehung des Saturnmondes auf die Ringpartikel ist dreidimensional. Die regelmäßige Passage des Mondes Daphnis wirbelt die Ränder der Keeler-Lücke durcheinander.

© NASA

Die **Wechselwirkung** zwischen einem Hirtenmond und den ihn umgebenden Ringen ist kompliziert sowie die der Ringpartikel untereinander, wenn der Mond an ihnen vorbeizieht (Abb. 4, 5).

Die nachfolgende Aufnahme zeigt wie drei Wellenberge der Bewegung des Mondes vorausseilen (Abb. 6). Dabei entwickelt sich die Form der jeweiligen Welle, wenn die Ringpartikel durch die äußere Einwirkung miteinander kollidieren.

Detailaufnahmen zeigen, daß sich dabei in der unmittelbaren Nähe des Mondes lichtschwaches, dünnes Ringmaterial sammelt, das von dem Hirtenmond wahrscheinlich direkt aus dem A-Ring gezogen wurde (Abb. 3).

Vorausseilend

Die **neuen Aufnahmen** des Saturnmondes Daphnis entstanden aus einer Entfernung von rund 17.000 Kilometer zum Mond (Abb. 6).

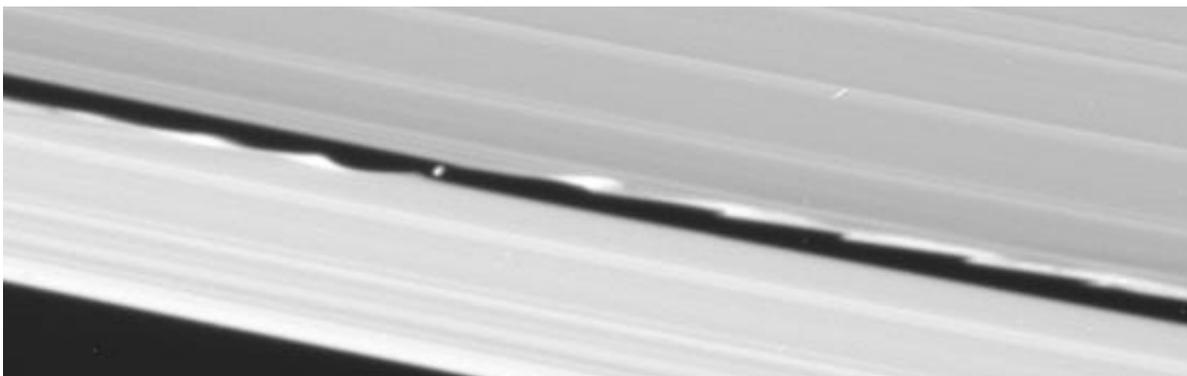


Abb. 6 Vorausseilende Wellen.

Die Wellenmuster am Rand der Keeler-Lücke entstehen durch die Anziehung des Saturnmondes Daphnis und dessen leicht unregelmäßige Bahn.

© NASA NASA/JPL-CalTech/SSI

Eine Erklärung für die Wellenmuster sind die geringen **Bahnschwankungen** des Mondes: manchmal befindet sich Daphnis näher am inneren Rand der Keeler-Lücke, manchmal näher am äußeren Rand. Wenn sich der Mond näher an einem der Ränder befindet, ist seine Anziehung auf die Ringpartikel stärker und erzeugt die Wellenmuster. Die seitliche **Abweichung der Bahn** beträgt rund 10 Kilometer (etwas mehr als die Höhe des Mount Everest), die vertikale rund 17 Kilometer.

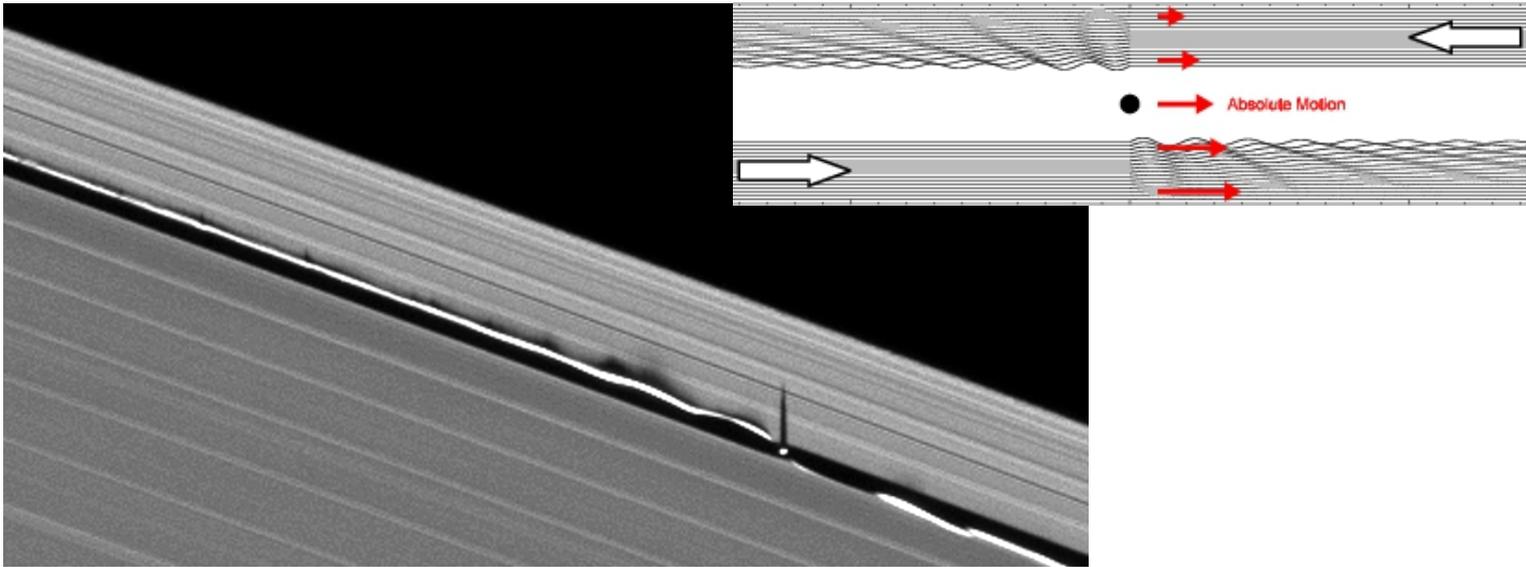


Abb. 7 Wellenmuster und Schattenwürfe an der Keeler-Lücke.

Links: Hinweise auf den Zusammenhang zwischen der Bahnbewegung des Hirtenmondes Daphnis und den Wellenmustern am Rand der Keeler-Lücke zeigten bereits die im Jahr 2009 beobachteten Schattenwürfe.

Rechts: Die Wellenstruktur sowie die dazugehörigen Schatten am Rand der Keeler-Lücke entstehen durch die Relativbewegung (weiße Pfeile) des Mondes Daphnis (schwarzer Kreis) zu den Teilchen der rechts und links vom Mond befindlichen Ringe. Die Bewegung des Mondes in der Lücke setzt die benachbarten Ringpartikel ebenfalls in Bewegung. Die absolute Bewegung wird durch die roten Pfeile dargestellt; je länger der Pfeil, desto größer ist die Geschwindigkeit dieser Bewegung. Aufgrund des 3. Keplerschen Gesetzes [1] bewegen sich die inneren Ringteilchen schneller als die äußeren (rote Pfeile). Aus dem gleichen Grund bewegt sich im Koordinatensystem des Mondes das innen liegende Material vorwärts, das außenliegende Material rückwärts (weiße Pfeile).

© NASA NASA/JPL-CalTech/SSI // Tiscareno (2011)

Bereits im Jahr 2009 beobachtete man in der Keeler-Lücke nicht nur wellenartige Muster, sondern ebenfalls lange **unregelmäßige Schattenwürfe**. Die obige Aufnahme (Abb. 7) entstand auf der nördlichen Hemisphäre zu Frühlingsbeginn im August (*Äquinox* [1]). Derartige Aufnahmen sind lediglich in der Nähe des Saturnäquinox möglich, das jedes halbe *Saturnjahr* [1] (entspricht 15 Erdjahre) auftritt.

Die Aufnahme zeigt den Saturnmond Daphnis und dessen langen Schattenwurf auf den Ring. Die vertikale Wellenstruktur wird durch die Anziehung des Saturnmondes verur-

sacht. Jede Welle entspricht einer „nach oben-nach unten-Bewegung“ des Mondes relativ zum Ringsystem (Abb. 7, rechts).

Schaut man genau hin, entdeckt man, daß die Wellenstruktur links des Mondes verschmierter erscheint als die anderen Muster. Möglicherweise ist das die Folge davon, daß sehr kleine Ringpartikel aus dem Ring gezogen werden. Diese Teilchen erscheinen heller als die der nächsten Wellenstruktur, möglicherweise verursacht durch die Beleuchtung dieses Ringbereiches.

Die vertikalen Schatten der Aufnahme erstrecken sich über rund 1-1,5 Kilometer, das entspricht etwa 150 Mal der Dicke des Rings in diesem Bereich. Die Ringe A, B und C besitzen eine mittlere Dicke von rund 10 Metern.

Ausblick

Die Saturnringe, die sich im Bereich von Hirtenmonden befinden, gehören zu den interessantesten Bereichen des Saturnsystems. Die Wissenschaftler erhoffen sich von den Untersuchungen mehr darüber zu erfahren wie die Planeten aus dem *Urnebel des Sonnensystems* [1] entstanden sind.

Leider ist **Ende September** bereits Schluß mit derartig sensationellen Aufnahmen, dann soll die Saturnmission Cassini in die Atmosphäre des Riesenplaneten fallen, wo sie sicherlich schnell zerstört wird. Cassini geht leider der Treibstoff aus ... Mit dem kontrollierten Absturz in ein „ringfreies Gebiet“ des Saturns soll jegliche „Verschmutzung“ im Bereich der Hirtenmonde vermieden werden.

Bis dahin erhoffen wir uns zahlreiche weitere interessante Aufnahmen des Gasriesen Saturn.

Falls Sie Fragen und Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter **kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu**

Ihre
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter

Quellenangaben:

[1] Mehr Information über Objekte des Sonnensystems und astronomische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Mehr Information und Aufnahmen des Hirtenmondes Daphnis in der Keeler-Lücke
<http://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/?search=daphnis&category=#submit>

[3] Übersicht über das Saturnringsystem
[© NASA/M. Hedman]

