

Ringsysteme als Mini-Sonnensysteme – Was verraten sie über die Gravitation?

Facharbeit im Seminarfach Astronomie

Greselius-Gymnasium Bramsche

Kathrin Dreyer, Jahrgang 12

Fachlehrer: Herr Riemer
Abgabedatum: 02.03.2026

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	2
2 Was ist Gravitation?.....	3
2.1 Die Keplerschen Gesetze.....	4
2.2 Exzentrizität ϵ	5
3. Ringsysteme der Gasplaneten im Vergleich.....	5
3.1 Saturn.....	5
3.2 Jupiter, Uranus, Neptun.....	7
4. Gravitative Wechselwirkungen in Ringsystemen.....	8
4.1 Bewegung der Ringteilchen.....	8
4.2 Einfluss von Monden auf Ringsysteme.....	9
4.3 Resonanzen.....	10
4.4 Moonlets.....	11
4.5 Die Roche-Grenze.....	12
4.6 Instabilitäten.....	12
5. Ringsysteme als Mini-Sonnensysteme.....	13
6. Fazit und Ausblick.....	14
7. Abbildungsverzeichnis.....	16
8. Literaturverzeichnis.....	16

1 Einleitung

Wie gelingt es der unsichtbaren Kraft der Gravitation, aus scheinbar chaotischen Trümmern ein faszinierend geordnetes Ringsystem zu erschaffen, welches wie ein verkleinertes Abbild eines Sonnensystems wirkt? Mit dieser Frage wird sich in der vorliegenden Arbeit auseinandergesetzt. Auf den ersten Blick wirken Ringsysteme wie spektakuläre Erscheinungen einiger weniger Planeten unseres Sonnensystems. Bei genauerer Betrachtung zeigen sie jedoch hochkomplexe Strukturen, in denen sich die grundlegenden Gesetze der Gravitation besonders anschaulich nachvollziehen lassen. Sie sind keine statischen Gebilde, sondern dynamische Systeme, in denen unzählige Teilchen durch die Wirkung einer sehr dominierenden Kraft in geordnete Bahnen gezwungen werden.

Die Gravitation bestimmt die Bewegung von Planeten, Monden und Kleinkörpern und sorgt für stabile Umlaufbahnen. Ringsysteme stellen dabei gewissermaßen ein natürliches „Labor“ dar: In ihnen wirken die gleichen physikalischen Prinzipien wie im großen Maßstab des Sonnensystems, jedoch auf deutlich kleineren Raum- und Zeitskalen. Die Untersuchung von Ringsystemen ist daher nicht nur für das Verständnis einzelner Planeten relevant, sondern liefert allgemeine Erkenntnisse über Struktur- und Ordnungsbildungsprozesse im Universum.

Im Rahmen dieser Arbeit wird zunächst das physikalische Fundament gelegt, indem die Gravitation sowie die Keplerschen Gesetze und die Exzentrizität von Umlaufbahnen erläutert werden. Anschließend werden die Ringsysteme der Gas- und Eisriesen unseres Sonnensystems vergleichend dargestellt, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf dem Saturn liegt. Darauf aufbauend werden die gravitativen Wechselwirkungen innerhalb von Ringsystemen analysiert, einschließlich der Bewegung der Ringteilchen, des Einflusses von Monden, Resonanzen, Moonlets, der Roche-Grenze sowie verschiedener Instabilitäten. Abschließend wird untersucht, inwiefern Ringsysteme als „Mini-Sonnensysteme“ verstanden werden können und welche Parallelen und Unterschiede zum großen Sonnensystem bestehen.

2 Was ist Gravitation?

Die Gravitation (lateinisch „gravitas“ / „Schwere“) ist eine der vier Grundkräfte in der Physik. Für diese Kraft entwarf Isaac Newton im 17. Jahrhundert eine mathematische Formel, womit diese Kraft berechnet werden kann. [2]

Die Formel lautet $F_G = G \times \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$.

Dabei gilt:

F_G gibt die Gravitationskraft zwischen zwei Körpern mit Masse m_1, m_2 an,

m_1, m_2 sind dabei die beiden Massen,

r definiert den Abstand zwischen den beiden Massen und

G ist die Gravitationskonstante: sie ist eine Naturkonstante mit dem Wert

$$6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{kg}^2} \cdot [2]$$

Die Gravitation ist die gegenseitige Anziehung von Massen: Jeder Himmelskörper zieht andere Himmelskörper im Universum an. Die Stärke der Anziehung hängt jedoch von den Massen der Körper ab. Je größer die Masse eines Körpers ist, desto stärker ist die Anziehung. [3] Die Gravitationskraft hat zwar eine unendliche Reichweite, doch trotz ihrer unendlichen Reichweite [2] nimmt die Gravitation mit zunehmender Entfernung zwischen den Massen ab. Die Gravitation wirkt überall im Universum und beeinflusst dadurch sehr kleine aber auch sehr große Himmelskörper. Sie bestimmt die Umlaufbahnen von beispielsweise Planeten und Monden und sorgt als Zentripetalkraft dafür, dass diese Himmelskörper sich in ihren Bahnen bewegen und nicht geradlinig durch das Universum „fliegen“. Die Gravitationskraft aller Himmelskörper im Sonnensystem trägt dazu bei, dass stabile Umlaufbahnen existieren können.[9] Zusammenfassend kann man sagen, dass es ohne die Gravitation keine stabilen Umlaufbahnen, keine Planeten und keine Ringsysteme geben würde. Umher schwebende Teilchen würden sich nicht zu größeren Massen zusammenballen, sondern sich gleichmäßig im Raum verteilen. Die Gravitation ist also die entscheidende Kraft, die Ordnung und Struktur im Universum ermöglicht und langfristig erhält. Zudem ist es nicht

möglich die Gravitationskraft auf irgendeine Weise abzuschirmen, sie ist also immer da und kann trotz ihrer relativen Schwäche, im Vergleich mit den anderen Kräften, zur bestimmenden Kraft im Sonnensystem werden. [1]

2.1 Die Keplerschen Gesetze

Ellipsen haben immer zwei Brennpunkte¹. Das erste Keplersche Gesetz besagt, dass die Sonne sich in einem der Brennpunkt einer Ellipse befindet, der andere Brennpunkt ist „leer“. Der umkreisende Planet beschreibt auf seiner Umlaufbahn eine Ellipse, sofern der Zentralkörper, wie zum Beispiel die Sonne, im Brennpunkt der Ellipse eine signifikant größere Masse als der umkreisende Planet hat. Der Bahnpunkt mit dem kleinsten Abstand zur Sonne wird Perihel genannt. Der Bahnpunkt mit dem größten Abstand zur Sonne wird als Aphel bezeichnet.[4]

Das zweite Keplersche Gesetz ist eine physikalische Folge der Drehimpulserhaltung². Der Fahrstrahl, welcher zwischen der Sonne und dem Planeten

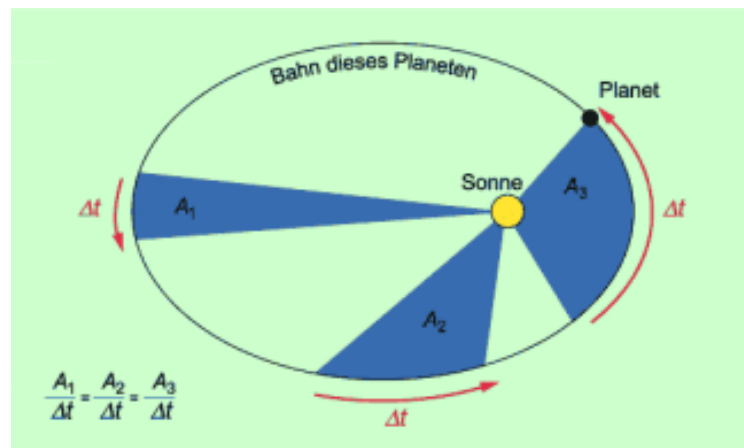


Abbildung 1: Zweites Keplersches Gesetz

gezogen wird, muss in gleicher Zeit gleich große Flächen überstreichen. Demzufolge muss sich die Geschwindigkeit des Himmelskörpers auf der Umlaufbahn ändern: Je kleiner der Abstand zwischen dem Brennpunkt mit dem massereicheren Himmelskörper und dem umkreisenden Himmelskörper ist, desto höher ist die Geschwindigkeit des umkreisenden Himmelskörpers. Daraus lässt sich schließen: Je größer der Abstand zwischen den beiden genannten Körpern, desto niedriger ist die Geschwindigkeit. [5] Dies lässt sich auch an der keplerschen Bahngeschwindigkeit des

1 Die Brennpunkte einer Ellipse sind zwei Punkte,[...] die die Form der Ellipse definieren.[...] Sie liegen symmetrisch zum Mittelpunkt und bestimmen durch ihre Entfernung die Exzentrizität.

2 Sind die Massen [...] weit von der Drehachse [entfernt], dann ist ihr Trägheitsmoment groß. [Werden][...] die Massen [...] näher zur Drehachse, so verringert sich ihr Trägheitsmoment. Da das Produkt aus Trägheitsmoment und Winkelgeschwindigkeit aber gleich bleiben muss, erhöht sich entsprechend die Winkelgeschwindigkeit, wenn sich das Trägheitsmoment verkleinert.

Ringmaterials in den Ringsystemen feststellen. Die Geschwindigkeit des Materials nimmt mit wachsendem Abstand zum Saturn ebenfalls ab. [8]

Das dritte und somit letzte der drei keplerschen Gesetze vergleicht die Umlaufzeiten diverser Himmelskörper um denselben Brennpunkt. Zum Beispiel die Umlaufbahnen verschiedener Planeten um denselben Brennpunkt Sonne, oder aber auch diverse Ringe des Saturn. [6]

2.2 Exzentrizität ϵ

Die Exzentrizität gibt die Abweichung einer Ellipse von der Kreisform an. Die Exzentrizität liegt immer zwischen 0 und 1. Wenn die Exzentrizität gleich 0 ist, so ist die Ellipse ein Kreis. Je weiter der Wert der Exzentrizität von 0 abweicht, desto größer ist die Abweichung der Ellipse von einer Kreisform.[7] Die Umlaufbahnen von Jupiter, Saturn, Uranus als auch Neptun haben alle eine sehr geringe Exzentrizität und sind somit nahezu exakte kreisförmig. [4]

3. Ringsysteme der Gasplaneten im Vergleich

3.1 Saturn

Saturn ist der sechste Planet unseres Sonnensystems. Er gehört zur Kategorie der Gasriesen, seine Umlaufbahn um die Sonne hat eine Exzentrizität von 0,054 und ist somit annähernd kreisförmig. Dieser Planet hat einen Durchmesser von 120.500 km (9,5 facher Erd-Durchmesser) und 95 mal soviel Masse wie die Erde. An der Oberfläche herrschen Temperaturen von -139 °C. [15]

Über das Alter, sowie über die Entstehung des Ringsystems gibt es verschiedenste Theorien und Ansätze. Das Alter der Saturnringe ist schon seit vielen Jahren ein stark umstrittenes Thema, ebenso wie die Entstehung des Ringsystems. [10] Galileo Galilei (1564-1642) hatte im Jahr 1610 bei seinen ersten Himmelsbeobachtungen mit einem Fernrohr die Ringe des Saturn entdeckt – allerdings nicht als Ringe, sondern nur als Wölbungen zu den Seiten hin. Erst der holländische Gelehrte Christian Huygens erkannte im Jahr 1655, dass es sich um

Ringe handelte, die den Planeten umspannten. Die lichtschwächeren Ringe Saturns wurden sogar erst in den 1980/90er Jahren entdeckt. [16, 17]

Es gibt drei unterschiedliche Theorien zur Entstehung der Ringe. Die erste und aktuellste Theorie ist die Ringbildung durch die Zerstörung von Monden durch Gezeitenkräfte. Die Zweite geht von Kollisionen zwischen Kometen und Asteroiden mit Planeten aus. Die dritte Theorie besagt, dass die Ringe gleichzeitig mit dem Planeten selber entstanden sein sollen. [10]

Saturn verfügt über das mit Abstand auffälligste und massereichste Ringsystem. Diese Systeme sind die flachsten Strukturen unseres Universums. Sie bestehen aus Milliarden von Teilchen aus Eis, Gestein und kosmischem Staub. Diese Teilchen variieren in der Größe, von mikroskopisch kleinen Partikeln bis hin zu mehreren Metern großen Brocken. Die Ringe des Saturn sind bereits mit kleineren Teleskopen sichtbar und zeichnen sich durch ihre hohe Helligkeit aus. Diese resultiert aus dem sehr hohen Eisanteil der Ringteilchen, der die starke Reflexion des Sonnenlichts und somit die hohe Sichtbarkeit des Ringsystems bewirkt. Die Ringe erstrecken sich über hunderttausende Kilometer, sind jedoch nur wenige Meter dick. Innerhalb des Systems sind einzelne Ringe teilweise klar voneinander abgegrenzt. Zwischen ihnen befinden sich Lücken, deren Entstehung auf gravitative Resonanzen mit Monden zurückgeführt werden können. Die inneren Ringe A, B, C und D haben eine Ausdehnung von ungefähr 300.000 km, was dem Abstand zwischen Erde und Mond entspricht. Die eben genannten Ringe bestehen hauptsächlich aus Eis. Im Vergleich dazu haben die äußeren Ringe E, F und G einen vergleichsweise hohen Staubanteil. Sie sind zudem optisch sehr dünn, da Staub eine geringe räumliche Dichte hat. Außerdem werden die „Staubringe“ zum Beispiel von der Lorentzkraft oder dem Strahlungsdruck beeinflusst und nicht - wie die inneren Ringe - von Zusammenstößen. Der E-Ring erstreckt bis auf einen Abstand von 600.000 km vom Saturn. Somit hat allein der E-Ring eine Breite von insgesamt 300.000 km und ist damit der größte Ring des Sonnensystems. Außerdem wird er hauptsächlich von den Geysiren des Eismondes Enceladus gespeist. [8] Das Ringsystem des Saturn steht in einem Winkel zur Umlaufebene des Planeten um die Sonne. Aufgrund seiner Kantenstellung, welche der Saturn alle 15 Jahre einnimmt, sieht es so aus, als

würden seine Ringe verschwinden. In dieser Stellung sind die Ringe von der Erde aus betrachtet quasi unsichtbar. [19]

Die Ringe des Saturn sind nicht alphabetisch sortiert benannt, sondern in der Reihenfolge ihrer Entdeckung. So ergibt sich folgende Bezeichnung (von innen nach außen): D-,C-,B-,A-,F-,G- und schließlich der E-Ring. [23]

3.2 Jupiter, Uranus, Neptun

Im Vergleich zum auffälligen Ringsystem des Saturn sind die Ringe der anderen äußeren Planeten deutlich schwächer ausgeprägt, folgen jedoch denselben physikalischen Prinzipien.

Jupiter ist der fünfte Planet unseres Sonnensystems und auch der Größte mit einem Durchmesser von 142.976 km und einem Gewicht von 318 Erdmassen. Jupiter und Saturn vereinen 90% der gesamten Masse aller Planeten. Auch Jupiter gehört zur Kategorie der Gasriesen, die Exzentrizität seiner Umlaufbahn beträgt 0,0487 und auf seiner „Oberfläche“ herrschen ähnliche Temperaturen wie auf Saturn (-108 °C). Leben wäre auf der Erde ohne den Planeten Jupiter wahrscheinlich nicht möglich, da etwa alle 100.000 Jahre ein Asteroid bei uns einschlagen würde. Jupiter sorgt mit seiner großen Gravitation dafür, dass viele Objekte mit Flugrichtung ins innere Sonnensystem vor Erreichen der inneren Planeten auf ihm einschlagen.[18]

Die Ringe des Jupiter sind so dünn, dass sie kaum mit normalen Beobachtungsinstrumenten gesehen werden können. Eine Theorie besagt, dass die galileischen Monde des Jupiter eine ausgeprägte Bildung der Ringe verhindern. Diese Monde würden diverse große Ringe zerstören, bevor sie sich überhaupt richtig bilden können. Es wird davon ausgegangen, dass der Jupiter ohne diese Monde sogar noch ausgeprägtere Ringe als der Saturn haben könnte. [20]

Uranus ist der siebte Planet unseres Sonnensystems mit einem Gewicht von 14 Erdmassen und einem Durchmesser von 51.000 km. Er ist ein Gasplanet, gehört allerdings zur Kategorie der Eisriesen. Seine Umlaufbahn hat eine Exzentrizität von 0,0457 und seine Drehachse ist im Vergleich zur Umlaufbahn um die Sonne um 90° gekippt. [21] Es gibt die Theorie, dass Uranus aufgrund von einem

Zusammenstoß mit einem anderen Himmelskörper „auf die Seite gekippt“ ist. Die Ringe, welche 1977 entdeckt wurden könnten Überreste der Kollision sein. Es ist ein sehr feines und dunkles System: Es besteht aus Brocken, aber auch aus Staub. Eine Besonderheit der Ringe ist, dass sie nicht alle kreisförmig sind. Zudem ist der undurchsichtige Ring Epsilon der hellste Ring von Uranus mit einer Breite von 20 km. Ebenfalls hat Uranus zwei Schäfermonde namens Cordelia und Ophelia. [20]

Neptun ist der achte und somit äußerste Planet unseres Sonnensystems. Bevor seine Existenz und Position 1846 von den Mathematikern bzw. Astronomen Urbain Le Verrier und Johann Gottfried Galle aus Bahnstörungen des Uranus eher zufällig berechnet wurde, hatte G. Galilei den Himmelskörper 1612 zwar gesehen, aber nicht als Planet wahrgenommen, sondern als Stern. Er verfolgte das aber nicht weiter. [22]

4. Gravitative Wechselwirkungen in Ringsystemen

4.1 Bewegung der Ringteilchen

Die oben bereits erläuterten Grundstrukturen der Ringsysteme werde ich nun in Hinblick auf die Gravitation verdeutlichen. Die dünne Scheibenform der Ringsysteme ist eine natürliche Folge der dort wirkenden Kräfte. Die Ringe werden von der Gravitation des Zentralkörpers, welche alle kleinsten Teilchen auf die sogenannten Kepler-Kreisbahnen zwingt, der Eigengravitation der Ringteilchen und den Zusammenstößen zwischen diesen einzelnen Teilchen bestimmt. Ein beliebiges Teilchen kollidiert pro Umlauf um den Planeten ungefähr zehn bis zwanzig mal mit seinen „Nachbarteilchen“. Dies wird durch die Dichte der Ringteilchen in den Ringen und ihre leicht verschiedenen, sich überschneidenden Bahnen um den Zentralkörper verursacht. Diese häufigen Zusammenstöße sind ein entscheidender Faktor dafür, dass die Ringsysteme in vertikaler Richtung so dünn sind, trotz ihrer enormen horizontalen Ausdehnung. In Ringsystemen kann es passieren, dass sich ein Teilchen aus seiner Umlaufbahn und der Ringebene entfernt. Durch die sogenannten dissipativen Stöße wird die

Bewegungsenergie der „ausgebrochenen“ Teilchen an die übrigen Ringteilchen übertragen und in Wärmeenergie umgewandelt. Dadurch wird das „ausgebrochene“ Teilchen abgebremst und seine vertikale Geschwindigkeit bezüglich der Ringebene nach jedem Zusammenstoß verringert. Mit der Zeit kehrt es so wieder in eine Umlaufbahn innerhalb der Ringe zurück. Man kann sich das Ganze vorstellen wie bei einem Flummi, dessen vertikale Geschwindigkeit ebenfalls verringert wird nach jedem Aufprall auf dem Boden. Das Prinzip des Energieerhaltungssatzes kann somit sowohl bei riesigen Ausmaßen im Weltall, wie bei den Ringteilchen des Saturn, als auch im kleinen Maße auf unserer Erde, wie beim Flummi, angewandt werden. Ein weiterer bestimmender Faktor für die geringe Dicke der Ringe ist die niedrige „granulare Temperatur“. Die „granulare Temperatur“ ist ein Maß für die ungeordneten Bewegungen der Ringteilchen: Ist sie niedrig, so bildet sich ein dünner Ring. Die „granulare Temperatur“ wird durch das Gleichgewicht zwischen der „Abkühlung“ durch die dissipativen Stöße und der „Aufwärmung“ durch die differenzielle Rotation konstant gehalten. Die dissipativen Stöße würden auf Dauer zu einer geringeren „granularen Temperatur“ und damit zu dichteren und dünneren Ringen führen. Die differentielle Rotation führt durch vermehrte Stöße zwischen, verschieden schnell um den Zentralkörper rotierenden, Teilchen („Gezeitenkräfte“) zur Erhöhung der „granularen Temperatur“. [8]

4.2 Einfluss von Monden auf Ringsysteme

Schäfermonde spielen eine wichtige Rolle für Ringsysteme. Sie haben eine stabilisierende Wirkung auf ihnen nahe Ringteilchen. Auf ihrer Bahn um den Zentralkörper beeinflussen sie die Teilchen durch gravitative Wechselwirkungen mit ihnen. Sie halten die Materie in ihrer Nähe in dichteren Ringen zusammen, wie ein Schäferhund seine Schafherde, daher auch der Name. Die Teilchen werden aus ihrer direkten Flugbahn entfernt, aber in bestimmten Bahnen stabilisiert. [11] Schäfermonde kreisen direkt in Lücken des Ringsystems oder an ihren Rändern und sind für die Stabilität der Lücken entscheidend. [12] Ein paar Beispiele für Schäfermonde im Ringsystem des Saturn sind der Schäfermond Atlas im A-Ring, sowie Prometheus und Pandora im F-Ring, welche diesen mehr

oder weniger zwischen ihren Bahnen „umzingeln“. Weitere Schäfermonde im Ringsystem des Saturn sind beispielsweise Daphnis, Pan, Janus, Epimetheus und Aegaeon, wobei sich diese eher im inneren Bereich des Ringsystems befinden.

[11] Eine Besonderheit liegt bei den Monden Janus und Epimetheus vor. Da diese auf fast identischen Umlaufbahnen um den Saturn kreisen, „tauschen“ sie alle vier Jahre ihre Bahnen aufgrund ihrer gegenseitigen Anziehungskräfte. [12] Allerdings haben die Schäfermonde nicht nur eine stabilisierende Wirkung, sondern können auch Störungen verursachen, indem sie Ringteilchen aus ihren Bahnen auf andere Umlaufbahnen lenken. [13]

Nicht nur Schäfermonde, sondern auch „normale“ Monde können diese Störungen verursachen, wie zum Beispiel der Mond Mimas die Cassini-Teilung verursacht. Diese Lücke im Ringsystem wurde nach Giovanni Domenico Cassini benannt, welcher sie im Jahr 1675 entdeckte. [14] Die Cassini-Teilung trennt den A-Ring vom B-Ring und ist mit einer Breite von 4800 km (das entspricht ungefähr der Entfernung von Deutschland zum Nordpol) die größte Lücke innerhalb des Ringsystems des Saturn. [12]

4.3 Resonanzen

Der Saturn wird von mindestens 60 Monden umkreist. Sie tragen durch ihre großen Massen zur Ausbildung der Ringstrukturen im Ringsystem bei. Die Umlaufzeiten der Ringteilchen und Monde können in ganzzahligen Verhältnissen zu einander stehen. Diese ganzzahligen Verhältnisse werden in der Astronomie als Resonanzen bezeichnet. Solche Resonanzen sind auch in der zuvor thematisierten Cassini-Teilung vorzufinden. Die Ringteilchen an der Außenkante des B-Rings und an der Innenkante der Cassini-Teilung benötigen auf den Punkt genau die Hälfte an Zeit für eine Umrundung um den Saturn, wie der etwas weiter außenliegende Mond Mimas. Diese Region wird deshalb als 2:1 Resonanz des Mondes bezeichnet, da die Ringteilchen wie eben erläutert, zwei Umrundungen um den Saturn schaffen, in der Zeit, in der der Mond nur Eine schafft. Aufgrund dieser bestimmten Resonanz beeinflusst beziehungsweise stört der Mond Mimas die Materie in der Cassini-Teilung sehr stark. Grund dieser starken Störung sind die immer im gleichen Abstand wiederkehrenden gravitativen „Stöße“, welche

immer zur gleichen Zeit am gleichen Ort stattfinden. Genau in diesem Moment werden die Ringteilchen durch die starke Anziehung des Mondes Mimas beschleunigt, oder abgebremst, je nachdem, wie sie aufeinander treffen. Daraus folgt, dass die Teilchen aus ihrer Umlaufbahn gedrängt werden und somit die Teilung entsteht. Es kommt also nicht nur darauf an, wie regelmäßig die Ringteilchen durch Mimas einen „Kick“ bekommen, sondern auf den richtigen Zeitpunkt dieses „Kicks“. [8]

4.4 Moonlets

Je massereicher ein Moonlet ist oder je weniger zähflüssig das Ringmaterial reagiert, desto stärker beeinflusst der Mond die Struktur des Rings. Ein massereiches Moonlet kann deutliche Strukturen in den Ringen erzeugen.

Im A-Ring des Planeten Saturn gibt es zwei große Teilungen. Die Encke-Teilung ist etwa 320 km breit. Für sie ist der Mond Pan verantwortlich, der ungefähr 25 km groß ist. Eine weitere Teilung ist die Keeler-Lücke, die etwa 38 km breit ist. Sie wird vom deutlich kleineren Mond Daphnis verursacht, der nur etwa 7 km groß ist. Alle Moonlets von der Größe eines Wolkenkratzers befinden sich in einem Bereich von etwa 3000 km Breite um Saturn herum. Diese kleinen Monde beeinflussen die Ringteilchen in ihrer Umgebung deutlich. Ein Moonlet stört die Ringteilchen in ihrer „natürlichen“ Bewegung. Durch seine Gravitation zieht es Teilchen an, bremst sie ab oder lenkt sie aus ihren Bahnen. Diese Störungen können sich auf unterschiedliche Weise zeigen. Zum Beispiel können sich Teilchen auf eine eigene Bahn um das Moonlet bewegen oder es entstehen erkennbare Teilungen im Ring, die darauf hinweisen, dass sich dort ein Mond befindet. Außerdem können Schwingungen in Form von

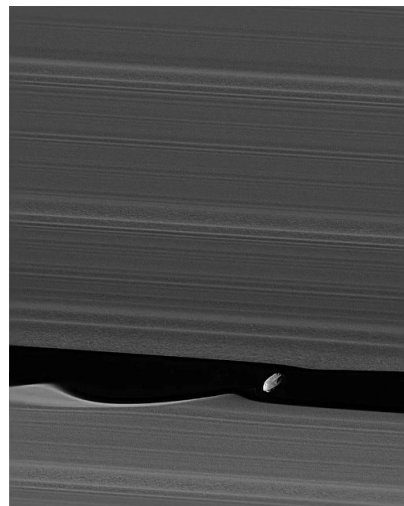


Abbildung 2: Mond Daphnis
fotografiert von der Raumsonde
Cassini am 16.01.2017

Dichte- oder Bugwellen entstehen, die durch die Bewegung und Zusammenstöße der Teilchen verursacht werden. Durch gravitative Streuung entstehen solche

Bugwellen und andere Störungen. Gleichzeitig wirkt jedoch die sogenannte viskose Diffusion. Dabei werden Dichteunterschiede durch Zusammenstöße der Teilchen nach und nach wieder ausgeglichen. Die Teilchen verlieren dabei etwas Geschwindigkeit, und die Struktur wird mit der Zeit wiederhergestellt.

Insgesamt versucht ein Moonlet also in der Nähe seiner Umlaufbahn eine Zone freizuräumen. Dadurch entstehen die Lücken, Wellen und feinen Strukturen in den Ringen vom Saturn. [8]

4.5 Die Roche-Grenze

Ein weiterer entscheidender Faktor für den Aufbau der Ringsysteme ist die Roche-Grenze. Sie ist ein Kriterium zur Beurteilung der inneren Stabilität eines Himmelskörpers. Innerhalb der Roche-Grenze herrschen Gezeitenkräfte. Gezeitenkräfte bezeichnen die unterschiedlich starke gravitative Ausrichtung eines massereichen Objekts, auf die ihm zugewandte und ihm abgewandte Seite eines kleineren Objekts. Die Gezeitenkräfte sorgen dafür, dass sich keine Körper, größer als ungefähr zehn Meter innerhalb der Roche-Grenze bilden können. [8] Massearme Körper werden durch Gezeitenkräfte „zerrissen“ und zerfallen in kleinere Bestandteile, [24] da die Gezeitenkräfte innerhalb dieser Grenze größer sind als der Zusammenhalt durch die Eigengravitation des Körpers. [8] Dies gilt allerdings nur für Körper, die von ihrer Eigengravitation zusammengehalten werden und nicht für zum Beispiel Satelliten, welche durch „künstliche Gravitation“ zusammengehalten werden. Ohne diese Grenze gäbe es wahrscheinlich keine Ringe, sondern stattdessen viele große, massereiche Monde. Denn so könnte sich das Ringmaterial zu beliebig großen „Klumpen“ formen, ohne auseinander zu brechen. Somit wären die Gezeitenkräfte ohne Bedeutung für die Ringe. [24]

4.6 Instabilitäten

Im A-Ring des Saturns entstehen besondere Strukturen durch das Zusammenspiel von Eigengravitation der Ringteilchen und den Gezeitenkräften. Zwar verhindern die Gezeitenkräfte, dass sich aus den Ringteilchen große Körper bilden, dennoch können sie sich bei ausreichend hoher Dichte zu größeren Klumpen

zusammenballen . In etwa 130.000 km Abstand vom Saturn sind die Bedingungen dafür günstig. Dort bilden sich zunächst kleine Verdichtungen, die jedoch durch die Scherbewegung auseinandergezogen werden. So entstehen lange, schmale Filamente von einigen hundert Metern Länge und etwa zehn Metern Breite. Diese Strukturen sind nicht exakt in Bewegungsrichtung ausgerichtet, sondern um etwa 20 bis 25 Grad geneigt. Die Ursache dafür ist das Gleichgewicht zwischen der anziehenden Gravitation und den auseinanderziehenden Scherkräften. Sichtbar werden diese Dichtestrukturen indirekt durch Helligkeitsunterschiede im Ring. Je nach Blickwinkel und der Stärke der Absorption des Lichtes reflektieren die geneigten Filamente das Sonnenlicht unterschiedlich stark, wodurch bestimmte Bereiche heller oder dunkler erscheinen. Außerdem kann durch die Absorption des Lichtes durch die Ringteilchen auf die Flächendichte der Ringe geschlossen werden. Die viskosen oszillatorischen Instabilitäten sind ein weiterer Effekt bei der Strukturbildung des Ringsystems. Sie entstehen in den dichten Ringen des Planeten Saturn, weil sich die Ringteilchen unterschiedlich schnell bewegen. Diese sogenannte Keplersche Bahngeschwindigkeit der Ringmaterie nimmt mit wachsendem Abstand zum Planeten hin ab. Diese Abhängigkeit bezeichnet man als differentielle Rotation. Durch diese differentielle Rotation stoßen die Teilchen häufig zusammen, wobei Drehimpuls von den schnelleren inneren Teilchen auf die langsameren äußeren übertragen wird. Dadurch verlieren die inneren Teilchen an Geschwindigkeit, während die äußeren Teilchen an Geschwindigkeit dazugewinnen. Sie verlieren somit durch die „Bremsung“ ihren Drehimpuls und wandern deshalb weiter nach innen. Zusammen mit Trägheitskräften, vor allem der Corioliskraft, können dadurch Wellen entstehen, die sich in Richtung des Radius durch den Ring ausbreiten. Solche viskosen Schwingungen treten besonders in sehr dichten Ringbereichen auf, zum Beispiel im B-Ring des Saturn, wo Wellenlängen von ungefähr 130 Metern angenommen werden. Die Raumsonde Cassini hat diese Strukturen in den A- und B-Ringen kürzlich erst nachgewiesen. [8]

5. Ringsysteme als Mini-Sonnensysteme

Ringsysteme werden auch als „Mini-Sonnensysteme“ bezeichnet, da sie in verkleinerter Form ähnliche physikalische Strukturen aufweisen wie das

Sonnensystem selbst. Im Zentrum steht jeweils ein massereicher Körper. Im Sonnensystem die Sonne, im Ringsystem der jeweilige Planet. Um diesen Zentralkörper bewegen sich zahlreiche kleinere Objekte auf stabilen Umlaufbahnen. In beiden Fällen ist Gravitation die dominierende Kraft, welche die Bewegung bestimmt und das System zusammenhält. [3,25] Ein weiterer Vergleichspunkt ist die Ordnung der Bahnen. In beiden Fällen bewegen sich die meisten Objekte in einer gemeinsamen Ebene. Im Sonnensystem liegt diese Ebene nahe der sogenannten Ekliptik, während Ringsysteme nahezu exakt in der Äquatorebene des Planeten verlaufen. Diese gemeinsame Ausrichtung entsteht aus der Rotationsbewegung des ursprünglichen Materials, aus dem sich das System gebildet hat. Ein entscheidender Unterschied liegt in den Größen- und Massenskalen. Die Planeten des Sonnensystems besitzen erhebliche Eigenmassen und können sich gegenseitig spürbar beeinflussen. Ringteilchen hingegen sind im Vergleich zum Planeten extrem massearm. Ihre gegenseitige Gravitation ist nahezu vernachlässigbar, sodass das System weitgehend vom Planeten dominiert wird.[25,26]

Ein weiterer Unterschied besteht in der Rolle von Kollisionen. Im Sonnensystem sind Zusammenstöße zwischen Planeten seltene Ereignisse. In Ringsystemen hingegen sind Kollisionen zwischen Teilchen ein alltäglicher Bestandteil der Dynamik. Sie tragen wesentlich zur Stabilisierung der flachen Ringstruktur bei und verhindern die dauerhafte Bildung größerer Körper innerhalb bestimmter Regionen. [27]

6. Fazit und Ausblick

Die Analyse der Ringsysteme hat gezeigt, dass ihre Struktur und Dynamik durch gravitative Wechselwirkungen geprägt sind. Die Gravitation des Zentralkörpers zwingt die Ringteilchen auf keplersche Umlaufbahnen (vgl. Kapitel 4.1), während Kollisionen, Eigengravitation und Gezeitenkräfte ihre Struktur bestimmen. Monde und Schäfermonde stabilisieren und destabilisieren Ringe (vgl. Kapitel 4.2), erzeugen Lücken wie die Cassini-Teilung durch Resonanzen und formen durch gravitative Störungen beispielsweise Wellen. Die Gezeitenkräfte in der Roche-

Grenze verhindern die dauerhafte Bildung größerer Körper innerhalb bestimmter Bereiche und erklären, warum das Material in Form eines Rings und nicht als Mond existiert. Zudem wurde deutlich, dass Ringsysteme trotz ihrer - auf den ersten Blick - scheinbaren Einfachheit hochkomplexe Systeme sind, in denen Prozesse wie viskose oszillatorische Instabilitäten und differentielle Rotation kontinuierlich neue Strukturen bilden.

Damit lässt sich die am Anfang formulierte Leitfrage beantworten: Ringsysteme entstehen und bestehen, weil die Gravitation Ringmaterie ordnet, stabilisiert und gleichzeitig Grenzen gesetzt werden (Roche-Grenze). Sie sind verkleinerte Versionen des Sonnensystems, da sie denselben physikalischen Gesetzen folgen, jedoch in anderen räumlichen Dimensionen und unter stärkerem Einfluss eines einzelnen Zentralkörpers (vgl. Kapitel 5). Ringsysteme verdeutlichen somit anschaulich, wie Gravitation beeindruckende Strukturen im Universum schafft.

Für die zukünftige Forschung eröffnen sich weiterhin zahlreiche Fragestellungen. Insbesondere hochauflösende Beobachtungen durch Raumsonden (zum Beispiel Cassini-Huygens) ermöglichen immer detailliertere Einblicke in die Feinstruktur der Ringe und die Entstehung kleinerer Moonlets. Ringsysteme bleiben daher nicht nur faszinierende Objekte der Beobachtung, sondern auch ein bedeutendes Forschungsfeld, das grundlegende Erkenntnisse über Gravitation und kosmische Ordnungsprozesse liefert.

7. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zweites Keplersches Gesetz.....	4
Abbildung 2: Mond Daphnis fotografiert von der Raumsonde Cassini am 16.01.2017.....	11

8. Literaturverzeichnis

Internetquellen:

- [1] <https://www.superprof.de/blog/gravitationskraft-gravitationsgesetz/>
- [2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Gravitation>
- [3] [https://www.leifiphysik.de/mechanik/gravitationsgesetz-und-feld/
grundwissen/gravitationskraft](https://www.leifiphysik.de/mechanik/gravitationsgesetz-und-feld/grundwissen/gravitationskraft)
- [4] [https://www.leifiphysik.de/astronomie/planetensystem/grundwissen/erstes-
keplersches-gesetz](https://www.leifiphysik.de/astronomie/planetensystem/grundwissen/erstes-keplersches-gesetz)
- [5] [https://www.leifiphysik.de/astronomie/planetensystem/grundwissen/zweites-
keplersches-gesetz](https://www.leifiphysik.de/astronomie/planetensystem/grundwissen/zweites-keplersches-gesetz)
- [6] [https://www.leifiphysik.de/astronomie/planetensystem/grundwissen/drittes-
keplersches-gesetz](https://www.leifiphysik.de/astronomie/planetensystem/grundwissen/drittes-keplersches-gesetz)
- [7] [https://www.leifiphysik.de/astronomie/planetensystem/grundwissen/geometrie-
der-ellipse](https://www.leifiphysik.de/astronomie/planetensystem/grundwissen/geometrie-der-ellipse)
- [8] https://www.agnld.uni-potsdam.de/~fspahn/Publicationssuw_2007_11_S26.pdf
- [9] [https://www.lernort-mint.de/physik/astronomie/das-gewicht-gewichtskraft-auf-
anderen-planeten/](https://www.lernort-mint.de/physik/astronomie/das-gewicht-gewichtskraft-auf-anderen-planeten/)
- [10] <https://www.studysmarter.de/schule/biologie/exobiologie/planetenringe/>
- [11] [https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/
Ein_gigantisches_raetselhaftes_Ringsystem](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Ein_gigantisches_raetselhaftes_Ringsystem)
- [12] <https://de.wikipedia.org/wiki/Sch%C3%A4fermond>
- [13] [https://www.astronomie.de/das-sonnensystem/planeten-und-monde/der-
saturn/ringsystem](https://www.astronomie.de/das-sonnensystem/planeten-und-monde/der-saturn/ringsystem)
- [14] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/cassini/2209>
- [15] [https://de.wikipedia.org/wiki/Saturn_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Saturn_(Planet))
- [16] <https://www.spektrum.de/magazin/die-herren-der-ringe/828608>

- [17] https://de.wikipedia.org/wiki/Ringe_des_Saturn
- [18] [https://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_(Planet))
- [19] <https://www.tagesschau.de/wissen/forschung/astronomie-saturn-100.html>
- [20] <https://www.galaxus.de/de/page/darum-hat-jupiter-so-schwache-ringe-24744>
- [21] [https://de.wikipedia.org/wiki/Uranus_\(Planet\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Uranus_(Planet))
- [22] <https://www.astronomie.de/das-sonnensystem/planeten-und-monde/neptun/die-entdeckungsgeschichte-neptuns>
- [23] <https://www.c-muc.de/astronomie/weitere-planeten/saturn/>
- [24] <https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&opi=89978449&url=https://www.avl-lilienthal.de/astrophysik-kompakt-spezial.html%3Ffile%3Dfiles/AVL/AstrophysikAstrophysik%2520kompaktRocheGrenze.pdf&ved=2ahUKewjn1LnC7PmSAxXISvEDHfqzDXEQFnoECBgQAQ&usg=AO>
- [25] <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonnensystem>
- [26] <https://www.planet-schule.de/schwerpunkt/die-erde/planeten-was-ist-unser-sonnensystem-100.html>
- [27] <https://www.mpg.de/24356362/fomalhaut-staubwolken-durch-kollisionen>

Link von Abbildung 1

<https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https%3A%2F%2Fwww.lernhelfer.de%2Fschuelerlexikon%2Fphysik-abitur%2Fartikel%2Fkeplersche-gesetze&opi=89978449>

Link von Abbildung 2

<https://www.nasa.gov/image-article/daphnis-up-close/>

Alle Quellen wurden zuletzt am 01.03.2026 auf ihre Richtigkeit geprüft.

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Facharbeit selbstständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Stellen der Facharbeit, die im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt aus anderen Werken entnommen wurden, mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Bramsche, den

Unterschrift der Schülerin / des Schülers

Einverständniserklärung zur Veröffentlichung

Hiermit erkläre ich, dass ich damit einverstanden bin, wenn die von mir verfasste Facharbeit der schulinternen Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird.

Bramsche, den

Unterschrift der Schülerin / des Schülers