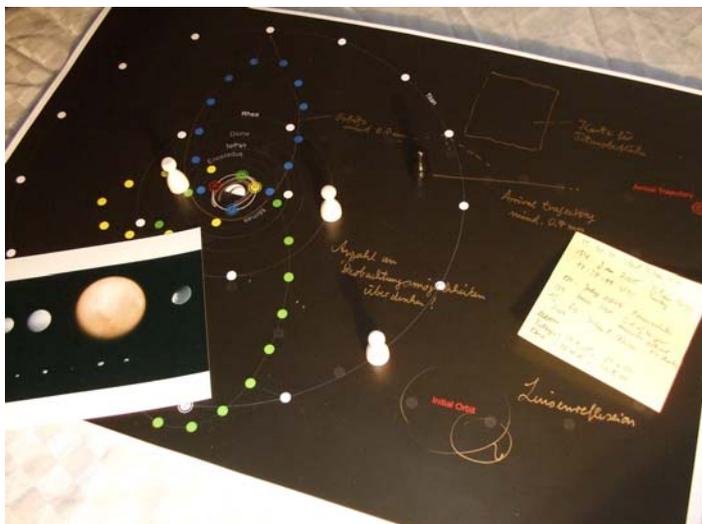


Entdeckungsreise im Saturnsystem Ein Brettspiel zur Cassini-Huygens-Mission

Dirk Brockmann-Behnsen

1. Vorbemerkung



Am 01.06.2008 endete mit der Vollendung des vierundsiebzigsten Saturnumlaufs die reguläre, vierjährige Missionszeit der Cassini-Raumsonde. Der vorliegende Artikel ist eine Hommage an eine der erfolgreichsten interplanetaren Sonden, die Menschen je zur Erkundung unseres Sonnensystems aussendeten.

Gestartet wurde die fast sieben Meter hohe und betankt 5,3 Tonnen schwere Sonde Cassini am 15.10.1997 von Cape Canaveral mit einer schubverstärkten Titan IVb Rakete, welche die Sonde auf eine Endgeschwindigkeit von 12,4 km/s beschleunigte. Da zum Erreichen des Saturn aber eine Geschwindigkeit von

15,1 km/s nötig ist, musste Cassini durch Swingby-Manöver an Venus (zweimal), der Erde und am Jupiter auf die erforderliche Geschwindigkeit gebracht werden¹. Die Anreise zum eigentlichen Ziel Saturn wäre ein guter Gegenstand für ein weiteres spannendes Spiel...

Am 01.07.2004 wurde Cassini am Saturn scharf abgebremst, um die Sonde auf eine anfängliche Umlaufbahn (Initial Orbit) zu bringen. Während der erneuten Annäherung an den Saturn passierte Cassini die Bahn des größten Saturnmondes Titan und setzte am 14.01.2005 die europäische Landesonde Huygens erfolgreich auf dessen Oberfläche ab. Während der folgenden vier Jahre flog Cassini einige Male nah an den verschiedenen Monden im Saturnsystem vorbei. Dem im Spiel dargestellten Mond Tethys näherte sich Cassini beispielsweise am 24.09.2005 und am 27.06.2007, dem ebenfalls dargestellten Mond Rhea am 26.11.2005 und am 30.08.2007.

2. Einordnung und Fachübergreifung

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag (SuW)		
Physik	Mechanik	Gravitation, Umlaufzeit bei elliptischen und kreisförmigen Bahnen, keplersche Gesetze
Astronomie	Planeten, Raumfahrt	Saturnsystem, Cassini-Huygens-Mission
Fächerverknüpfungen	Astro-Mathematik	Berechnungen mit Hilfe des 3. keplerschen Gesetzes (Wurzelziehen), ggf. Herleitung
Lehre allgemein	Sozialform Kompetenzen	Gruppenarbeit Kommunikation

¹ Für weitere Einzelheiten sei auf [DLR02] und die Internetseiten der Raumfahrtbehörden verwiesen.

3. Vorbereitung der Quizkarten

Die Grundidee des Spiels ist eine didaktisch reduzierte Simulation der Cassini-Huygens-Mission. Ziel ist dabei die Aufnahme möglichst vieler wissenschaftlicher Daten. Dies geschieht im Spiel, indem die Spieler versuchen, während der Saturnumläufe mit der Sonde möglichst oft in die Reichweite des Saturn und seiner Monde Tethys, Rhea und Titan zu kommen. Befindet sich die Sonde auf einem Feld, das durch eine gestrichelte Linie mit dem Feld verbunden ist, auf dem sich ein Mond befindet, so wird dem Mitspieler, der die Sonde dort hingezogen hat, eine Frage zu dem entsprechenden Mond gestellt. Beantwortet er diese Frage richtig, so wird die Fragekarte auf einen Stapel gelegt, jede Karte entspricht einem Missionspunkt, der „Datenschatz“ wächst mit der Zahl der richtig beantworteten Fragen. Für die Durchführung des Spiels ist also eine möglichst große Zahl von Fragekarten Voraussetzung. Diese Fragekarten, die zu einer Frage eine richtige und drei falsche Antworten bieten, müssen im Vorfeld von den Schülerinnen und Schülern vorbereitet werden. Dazu können die Blankokarten aus dem Anhang kopiert werden. Jede Schülerin und jeder Schüler sollte etwa jeweils vier bis fünf Fragen zum Saturn und zu jedem seiner Monde notieren. Dies kann im Rahmen einer Internetrecherche geschehen. Die Schülerinnen und Schüler sollten dabei ihre Fragen, die jeweils richtige Antwort und die Quelle auch noch einmal separat notieren. Die Richtigkeit der Antworten sollte überprüft werden. Alle ausgefüllten Fragekarten werden dann eingesammelt. Zu jedem Spielbrett sollte ein vollständiger Satz an Fragekarten kopiert werden.

4. Vorbereitung des Brettspiels

Der Spielplan (Anhang) sollte möglichst in Farbe und auf A3-Karton ausgedruckt werden. Dieser Ausdruck kann anschließend noch auf starkem Karton oder Sperrholz aufgeklebt werden. Es werden drei Spielfiguren für die Monde Tethys, Rhea und Titan benötigt. Drei handelsübliche weiße Spielfiguren eignen sich hervorragend; kleine Holzzylinder von etwa einem Zentimeter Durchmesser und einer entsprechenden Höhe, auf die verkleinerte Fotos der Monde (Anhang) geklebt werden, gäben dem Spiel einen besonderen Charme. Weiterhin wird eine weitere Spielfigur für die Raumsonde Cassini benötigt. Eine handelsübliche rote Spielfigur oder ein selbst gebasteltes Modell der Sonde in adäquater Größe eignen sich hier. Die Photographie von der Titanoberfläche, die sich im Anhang befindet, kann bei erfolgreichem Absetzen der Huygenssonde auf den Spielplan gelegt werden (siehe Abschnitt 5). Schließlich ist noch ein sechsseitiger Würfel erforderlich.

Die Lerngruppe wird in Gruppen zu vier bis sechs Schülerinnen und Schüler eingeteilt. Jede Gruppe benötigt ein Spielbrett und einen Fragekartensatz. Jeweils eine Schülerin oder ein Schüler wird dann als Missionsleiter in eine andere Gruppe abgesendet. Der Missionsleiter verwaltet die Fragekarten, stellt die Fragen und überwacht den korrekten Missionsverlauf.

Die Spielfigur für die Cassini Raumsonde wird zu Beginn auf das Feld **C** gestellt, der Mond Titan auf das Feld **T**, die Monde Tethys und Rhea auf ein beliebiges Feld ihrer jeweiligen Umlaufbahnen.

5. Spielanleitung

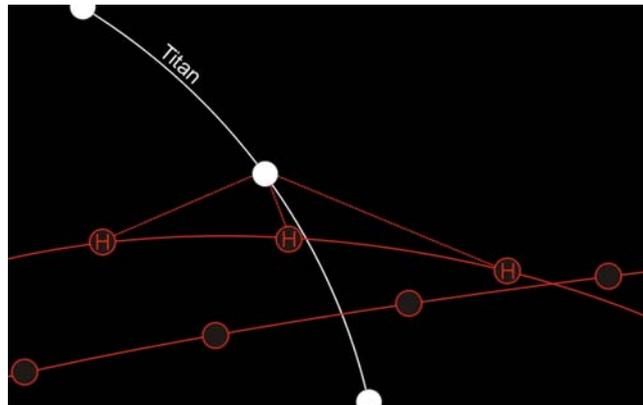
In einer Eröffnungsphase wird die Sonde zunächst von der äußeren Position **C** in das Saturnsystem eingebracht (Arrival Trajectory), am Saturn stark abgebremst und auf eine Anfangsumlaufbahn (Initial Orbit) gebracht. Diese Phase wird im Spiel wie folgt umgesetzt:

Die Spieler würfeln, der Spieler mit der höchsten Augenzahl beginnt. Danach wird gegen den Uhrzeigersinn weitergespielt.

Wenn ein Spieler gewürfelt hat, setzt er die Monde in folgender Reihenfolge grundsätzlich um jeweils nur ein Feld gegen den Uhrzeigersinn weiter: Tethys, Rhea, Titan. Die Sonde hingegen setzt er abhängig von der gewürfelten Augenzahl nach folgendem Schema weiter:

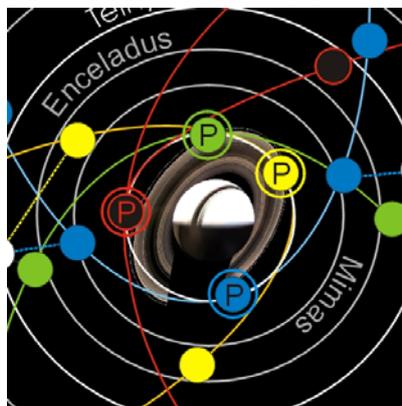
Augenzahl:	1	2	3	4	5	6
Zahl der Felder, um die die Sonde vorrückt:	0		1		2	

Spannend wird es während der erneuten Annäherung an den Saturn: Beim Passieren der Titanbahn muss nämlich die Tochtersonde Huygens auf der Oberfläche des wolkenverhangenen Saturnmondes abgesetzt werden. Dies gelingt nur, wenn Titan die Position erreicht, an der die gestrichelten Linien enden, während die Sonde Cassini eines der mit einem **H** gekennzeichneten Felder besetzt. In diesem Fall darf die Photographie von der Titan-oberfläche auf das Spielbrett gelegt werden und die Schülerinnen und Schüler werden durch die freie Sicht auf die Titanlandschaft und zwei Missionspunkte für ihre erfolgreiche Missionsdurchführung an dieser Stelle belohnt.



Wird das Feld mit dem roten P am Ende der Anfangsumlaufbahn (Initial Orbit) erreicht², beginnt die Hauptphase des Spiels:

Weiterhin wird gegen den Uhrzeigersinn gewürfelt, aber von nun an werden nach jedem Wurf unter Einhaltung der Reihenfolge die Monde Tethys, Rhea und Titan, dann die Sonde Cassini alle um die gewürfelte Augenzahl gegen den Uhrzeigersinn gezogen. Dabei bewegen sich die Monde auf ihren Umlaufbahnen um den Saturn, der Raumsonde stehen drei farblich unterscheidbare Orbits zur Auswahl. Die Anfangsumlaufbahn (Initial Orbit) kann nicht wieder durchlaufen werden.



Ein Wechsel von einem Orbit zu einem anderen kann vorgenommen werden, wenn der mit **P** gekennzeichnete Perizentrums-Punkt der aktuellen Bahn erreicht wird. Ebenfalls gegen den Uhrzeigersinn zieht man in diesem Fall vom P-Punkt der alten auf den P-Punkt der neuen Bahn. Hat man noch Augen von dem Würfelwurf, mit dem man den P-Punkt der alten Bahn erreicht hat, über, so werden diese auf die neue Bahn übertragen.

Ziel des Spiels ist es, bei zehn Umläufen (reguläre Spielmissionszeit) möglichst viele Missionspunkte zu sammeln. Die Zahl der erworbenen Missionspunkte repräsentiert den gesammelten Datenschatz. Einen Missionspunkt erhält ein Mitspieler, wenn er die Sonde so geschickt gesetzt hat, dass sie auf ein Feld kommt, welches durch eine gestrichelte Linie mit dem Feld eines Mondes verbunden ist, auf dem sich dieser Mond zur selben Zeit auch befindet. In diesem Fall stellt ihm der Missionsleiter, der aus einer anderen Gruppe stammt (siehe hierzu Abschnitt 4) eine Frage zu dem Mond. Beantwortet er die Frage richtig, erhält der Spieler für seine Gruppe den Missionspunkt.



² Über dieses Feld wurde die Sonde zuvor, beim Übergang von der Ankunftsflugbahn (Arrival Trajectory) zur Anfangsflugbahn, schon einmal gezogen.

Es kann geschehen, dass ein Spieler eine Augenzahl würfelt, welche die Sonde über den Punkt, an dem sich ein Mondkontakt ergibt, ziehen lässt. In diesem Fall wird um die Augenzahl, die zum Erreichen des Kontaktpunkts erforderlich ist, gezogen, dann die Frage gestellt und anschließend um die verbleibende Augenzahl weiter gezogen.

Entsprechendes gilt für das Erreichen bzw. Überschreiten der P-Punkte. Hier wird dem ziehenden Spieler eine Saturnfrage gestellt, die bei korrekter Beantwortung ebenfalls zu einem Missionspunkt führt.

Es ist gewünscht und wichtig, dass sich die Gruppe insbesondere in Fragen des Orbitwechsels bespricht und eine gemeinsame Strategie der Missionsdurchführung entwirft. Die Frage bei einem Mond Flyby darf aber nur der Spieler beantworten, der, als er an der Reihe war, die Sonde zu der fraglichen Position gezogen hat.

6. Zum dritten keplerschen Gesetz

Wenn im Unterricht der gymnasialen Oberstufe die klassische Gravitationstheorie behandelt wird, bietet sich der Einsatz des in diesem Aufsatz beschriebenen Spiels als interessante Unterrichtsauflockerung an. Die Punktmächtigkeiten sowohl der als kreisförmig angenommenen Umlaufbahnen der Monde³ als auch der exemplarisch definierten Sondenorbits entsprechen den nach dem dritten keplerschen Gesetz bestimmbaren Umlaufzeiten.

Für die Berechnung der Umlaufzeiten der Monde kennt man die wirkende Zentripetalkraft, welche die Monde auf ihre Umlaufbahnen zwingt, als Gravitationskraft:

$$m \cdot r \cdot \omega^2 = G \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich mit

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{1}{T}$$

die Gleichung zur Bestimmung der Umlaufzeit:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{r^3}{G \cdot M}}$$

Bezüglich der Bestimmung der Umlaufzeiten bei elliptischen Bahnen (drittes keplersches Gesetz) sei auf das ausgezeichnete Buch von Ulrich Uffrecht und Torsten Poppe ([UP02], S.64) verwiesen:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{a^3}{G \cdot M}}$$

Die Umlaufzeit auf einer elliptischen Bahn mit der großen Halbachse a entspricht also der Umlaufzeit auf einer Kreisbahn mit einem Radius entsprechender Größe.

Mit der Saturnmasse $5,686 \cdot 10^{26} \text{kg}$ ergeben sich demnach für die Mondumlaufbahnen bzw. die Sondenorbits, deren große Halbachsen auf dem Spielplan zu vermessen sind, folgende Umlaufzeiten:

	Tethys $r=294,7 \cdot 10^6 \text{m}$	Rhea $r=527,2 \cdot 10^6 \text{m}$	Titan $r=1221,6 \cdot 10^6 \text{m}$	Gelber Orbit $a=437,0 \cdot 10^6 \text{m}$	Blauer Orbit $a=540,3 \cdot 10^6 \text{m}$	Grüner Orbit $a=714,2 \cdot 10^6 \text{m}$
T/d	1,89	4,52	15,95	3,4	4,69	7,13
Punkte	4	10	32	7	10	14

³ Die numerischen Exzentrizitäten betragen für Tethys 0,000, Rhea 0,001 und für Titan 0,029 ([HM83], S.55)

Bei Betrachtung dieser Tabelle sieht man, dass zwischen zwei Punkten eine Zeitspanne von etwa 12 Stunden liegt. In der Hauptphase des Spiels bewegen sich die Monde und die Sonde Cassini also gemäß den keplerschen Gesetzen und die Mitspieler bekommen einen Eindruck von der Dynamik des Saturnsystems. Die Positionen der Punkte auf den Sondenorbits sind allerdings nach spieltechnischen Gesichtspunkten verteilt worden, ihre Abstände verringern sich aber symbolisch zum Apozentrum hin.

7. Lernziele

Die Schülerinnen und Schüler sollen...

- Recherchen über die Cassini-Huygens-Mission sowie den Saturn und seine Monde Tethys, Rhea und Titan anstellen.
- ihre Erkenntnisse in Form von Fragen auf Fragekarten notieren.
- sich gegenseitig über den Saturn und seine Monde befragen (kommunizieren).
- Spielbretter basteln oder sogar selbst entwerfen.
- die Umlaufzeiten der Monde und der Sonde an Hand des dritten keplerschen Gesetzes überprüfen und das Gesetz ggf. herleiten.
- während des Spielens mehr über den Ablauf der Cassini-Huygens-Mission lernen.

8. Literatur

- [UP02] Uffrecht, U., Poppe, T.: *Lambacher Schweizer Themenheft: Himmelsmechanik und Raumfahrt*, 1. Auflage, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, 2002
- [HM83] Hunt, G., Moore, P.: *Saturn*, Herder Verlag, Freiburg, 1983
- [DLR02] Pressestelle des DLR: *Cassini Huygens – Mission zum Saturn (PR-200-35d-04/2002)*, Köln 2002
- [Sa94] Sagan, C.: *Pale Blue Dot*, Ballantine Books, New York, 1994