

# Cassinis großes Finale

*Mitte September 2017 geht der Flug der Raumsonde Cassini zu Ende, und die Endphase der Mission hat bereits im November 2016 begonnen. Dieses Material bietet in Ergänzung zum Beitrag in SuW 4/2017, S. 28, detaillierte Informationen zu den in den letzten Monaten geplanten Untersuchungen im Saturnsystem.*

Von Tilmann Denk


## Wie werden die Umläufe von Cassini gezählt?

Die Raumsonde Cassini wird zum Missionsende den 294. Saturnumlauf vollendet haben, stürzt aber in der Mitte des Orbits 293 in den Saturn. Der 127. und letzte gezielte Titan-Vorbeiflug im April trägt die Bezeichnung T126. Wie kommen diese Unterschiede zustande?

Zum einen beginnt die offizielle Zählung der Cassini-Umläufe im saturnfernsten Punkt der Bahn; das war für die dicht gedrängte Beobachtungsplanung der Periapsis-Segmente schlichtweg praktischer. Die erste halbe Runde hieß deshalb Orbit »0«, was eine halbe Runde Differenz relativ zur Zählung erklärt. Zum anderen liegt das an einem längst verjährten Problem mit der Eintauchsonde Huygens – mancher Leser wird sich vielleicht noch erinnern (siehe SuW 6/2004, S. 44).

Als Cassini-Huygens bereits unterwegs und die Beobachtungsplanung für die Primärmission weit fortgeschritten war, stellte sich heraus, dass Orbiter und Eintauchsonde nicht miteinander kommunizieren können, weil die Frequenzverschiebung der Funksignale durch den Dopplereffekt bei relativ großer Relativgeschwindigkeit zu stark ausfällt. Dies konnte nicht über die Software korrigiert werden. Daher musste zum Beginn der Saturnmission ein zusätzlicher Titanvorbeiflug in großer

Höhe mit niedriger Relativgeschwindigkeit zwischen den beiden Raumsonden »eingeschoben« werden. Die ursprünglich geplanten ersten zwei dichten Titan-Passagen »T1« am 27. November 2004 (einschließlich Huygens-Mission) und »T2« am 14. Januar 2005, unverzichtbar für die geplanten Bahnänderungen des Orbiters, wurden ersetzt durch »Ta« am 26. Oktober 2004 und »Tb« am 13. Dezember 2004 mit jeweils sehr dichten Annäherungen an Titan. Der Vorbeiflug am 14. Januar 2005 wurde deshalb nicht mehr für die Bahnänderungen benötigt und konnte somit für die Huygens-Mission in relativ großem Abstand zu Titan durchgeführt werden. Dadurch wurden die Relativgeschwindigkeit beziehungsweise der Dopplereffekt zwischen Huygens und Cassini auf akzeptable Werte vermindert. Der Extravorbeiflug an Titan machte eine Extrarunde um Saturn nötig, so dass die Orbits »1« und »2« durch die Orbits »A«, »B« und »C«, gefolgt von »3« im Februar 2005, ersetzt wurden. Das erklärt die Differenz in der Zählung um einen ganzen Umlauf.

In der Summe ergibt das einen Unterschied von andert-halb Umläufen – der Absturz in der Mitte von Orbit 293 am 15. September 2017 findet also folgerichtig zum Abschluss des 294. Umlaufs statt. 

## Erläuterungen zu den Tabellen

**FRPOs:** F-Ring / Proximal Orbits; die letzte, zehn Monate dauernde Missionsphase von Cassini, die sich wiederum in zwei Abschnitte gliedert und im November 2016 begann.

**Orbits:** Umläufe, beispielsweise von Cassini um Saturn.

**Proximal:** »nah«; bezeichnet die Umläufe, bei denen Cassini ganz nah an Saturn herankommt.

**Periapsis:** Saturnnächster Punkt der Flugbahn

**Steuersequenz:** Computerprogramm, das Cassini steuert; auf dem Weg von der Erde zum Saturn mit C1 bis C44 bezeichnet, am Saturn mit S1 bis S101 durchnummeriert.

**Segment:** Die Bahn von Cassini am Saturn wurde in 688 »Segmente« eingeteilt, die jeweils einer wissenschaftlichen Disziplin (Saturn, Ringe, Titan, Eismonde, Erkundung der Magnetosphäre und »interdisziplinäre Planungsgruppe«) für die Planung zugeordnet wurden.

## Gezielte Vorbeiflüge an Titan

Orbit <sup>1</sup>	Datum des Vorbeiflug	Steuersequenz	Segment	Titandistanz	Primäre Aktivitäten
250	29. November 2016	S97	Titan	3160 Kilometer	T125; ORS (optische Fernerkundung mit Kameras und Spektrometer), niedere Breiten, vorausseilende Seite
270	22. April 2017	S99	Titan	980 Kilometer	T126; Radar, nördliche Seenlandschaft

## Endphase, Teil 1: F-Ring-Umläufe

Orbit <sup>1</sup>	Datum Periapsis	Steuersequenz	Periapsis-Segment	Geringster Abstand zu Saturn in Kilometer	Hauptaktivitäten am saturnnächsten Tag
251	4. Dezember 2016	S97	Saturn	90 100	Bahnmanöver; Bilder und Spektren von Enceladus, Tethys
252	11. Dezember 2016		XD <sup>2</sup>	90 100	Konjunktionsstellung mit der Sonne, kein Funkkontakt zur Erde möglich
253	18. Dezember 2016		Ringe	88 900	Bilder von Pandora, den Ringen und Propellern im A-Ring; Ringbedeckung
254	26. Dezember 2016		MAPS <sup>3</sup>	88 800	Staubmessungen am F-Ring; Bilder von Enceladus; Bilder und Radiowellenmessungen der Ringe
255	2. Januar 2017		Ringe	88 600	Bilder und Radarbeobachtungen der Ringe; Bilder von Enceladus und Propellern im A-Ring
256	9. Januar 2017		Ringe	88 500	Partikelmessungen am F-Ring; Bilder von A-, B-Ring, Aurora und Propellern im A-Ring
257	16. Januar 2017		Saturn	88 600	Bilder von Daphnis und Saturn
258	23. Januar 2017		MAPS	88 600	Partikelmessungen am F-Ring mit Massenspektrometer und Staubdetektor; Bilder der Aurora
259	30. Januar 2017		Monde	88 700	Bilder von Enceladus, Tethys, Epimetheus, Mimas und der Aurora
260	7. Februar 2017	S98	Ringe	89 800	Radarmessungen und Bilder der Ringe; Bilder der Propeller im A-Ring
261	14. Februar 2017		Saturn	89 800	Staubmessungen am F-Ring; Bilder von Saturn
262	21. Februar 2017		Ringe	87 700	Bilder von Epimetheus und der Propeller; Bilder vom Ringsystem
263	28. Februar 2017		MAPS	87 700	Magnetfeldmessungen am F-Ring; Bilder von der Aurora, den Ringen und Enceladus
264	7. März 2017		Saturn	87 100	Bilder von Pan und Saturn
265	14. März 2017		MAPS	86 900	Partikelmessungen am F-Ring mit Massenspektrometer; Bilder von Tethys und der Aurora; Staubmessungen
266	22. März 2017		MAPS	86 900	Staubmessungen am F-Ring; Bilder der Propeller und der Aurora; Radiowellenuntersuchungen der Ringe
267	29. März 2017		Saturn	86 800	Partikelmessungen am F-Ring mit Massenspektrometer; Bilder von Saturn und Enceladus
268	5. April 2017		Ringe	86 900	Partikelmessungen am F-Ring; Bilder von den Ringen und Dione; Radiowellenuntersuchungen der Ringe
269	12. April 2017		Ringe	87 200	Bilder von Atlas, der Aurora und den Ringen; Bilder der Propeller im A-Ring
270	19. April 2017	S99	Ringe	87 200	Partikelmessungen am F-Ring; Bilder der Ringe, Propeller und des C-Rings; Radiowellenuntersuchungen der Ringe

<sup>1</sup> Die Orbitangabe entspricht der offiziellen Zählung, tatsächlich hat Cassini schon 1,5 Runden mehr absolviert (siehe »Wie werden die Umläufe von Cassini gezählt?«).

<sup>2</sup> Cross Discipline, interdisziplinäre Planungsgruppe; <sup>3</sup> Magnetosphere and Plasma Science, Erkundung der Magnetosphäre und elektrisch geladener Teilchen

## Endphase, Teil 2: Cassini Grand Finale

Orbit <sup>1</sup>	Datum Periapsis	Steuersequenz	Periapsis-Segment	Geringster Abstand zu Saturn in Kilometer	Hauptaktivitäten am saturnnächsten Tag
271	26. April 2017	S99	Saturn	2960	Hauptantenne in Flugrichtung; Bilder von Saturn
272	2. Mai 2017		XD <sup>2</sup>	2940	Magnetfeldmessungen
273	9. Mai 2017		MAPS <sup>3</sup>	2720	Radiowellenuntersuchungen, Magnetfeldmessungen
274	15. Mai 2017		Ringe	2670	Radiowellenuntersuchungen, Messungen mit dem Staubdetektor
275	22. Mai 2017		Saturn	2710	Radiowellenuntersuchungen, Messungen mit dem Staubdetektor
276	28. Mai 2017	S100	Ringe	3910	Hauptantenne in Flugrichtung; Radaruntersuchungen und Bilder der Ringe
277	4. Juni 2017		Ringe	3900	Hauptantenne in Flugrichtung; Radaruntersuchungen und Bilder der Ringe
278	10. Juni 2017		Saturn	3430	Radiowellenuntersuchungen, Magnetfeldmessungen
279	16. Juni 2017		MAPS	3370	Partikelmessungen mit Massenspektrometer und Staubdetektor
280	23. Juni 2017		XD	3410	Radiowellenuntersuchungen, Magnetfeldmessungen
281	29. Juni 2017		Saturn	3740	Hauptantenne in Flugrichtung; Bilder von Saturn
282	6. Juli 2017		Ringe	3740	Hauptantenne in Flugrichtung; Bilder und Radaruntersuchungen der Ringe
283	12. Juli 2017	S101	Ringe	2870	Partikelmessungen mit Massenspektrometer und Staubdetektor
284	19. Juli 2017		Saturn	2810	Radiowellenuntersuchungen, Magnetfeldmessungen
285	25. Juli 2017		MAPS	2830	Magnetfeldmessungen
286	1. August 2017		Monde	2940	Bilder der Aurora und von Enceladus
287	7. August 2017		MAPS	2960	Partikelmessungen mit Massenspektrometer und Staubdetektor
288	14. August 2017		Saturn	1730	Partikelmessungen mit Massenspektrometer und Staubdetektor; Radarmessungen an Saturn
289	20. August 2017		MAPS	1680	Bilder der Aurora; Bilder vom Südpol von Saturn; Blick auf die Ringe von innen (»inside out«)
290	27. August 2017		Saturn	1650	Radarmessungen an Saturn; Partikeluntersuchungen mit Massenspektrometer
291	2. September 2017		Saturn	1660	Partikelmessungen mit Massenspektrometer
292	9. September 2017		Saturn	1700	Partikelmessungen mit Massenspektrometer; Radarmessungen an Saturn; Blick auf die Ringe von innen
293	15. September 2017		MAPS	-260	Einschlag auf Saturn – Missionsende

<sup>1</sup> Die Orbitangabe entspricht der offiziellen Zählung, tatsächlich hat Cassini schon 1,5 Runden mehr absolviert (siehe »Wie werden die Umläufe von Cassini gezählt?«).

<sup>2</sup> Cross Discipline, interdisziplinäre Planungsgruppe; <sup>3</sup> Magnetosphere and Plasma Science, Erkundung der Magnetosphäre und elektrisch geladener Teilchen

## Die letzten Aufnahmen von Objekten im Saturnsystem

Objekt	Orbit <sup>1</sup>	Datum	Abstand zu Cassini in Kilometern	Phasenwinkel <sup>2</sup>	Anmerkungen
Hyperion	240	22. August 2016	325 000	17°	
Mimas	259	30. Januar 2017	> 44 000	125°	
Tethys	265	14. März 2017	445 000	20°	Letzte Beobachtung, bei der dieser Mond »gut zu sehen« ist.
Kleine innere Monde (Atlas)	269	12. April 2017	> 12 000	>55°	Die Beobachtung von Atlas ist die letzte der kleinen inneren Monde, bei der Details der Oberfläche gut zu sehen sind. Tatsächlich wird es eine Woche später im Orbit 270 noch einmal Beobachtungen zur Bahnvermessung von allen kleinen inneren Monden aus größerer Distanz geben; zufälligerweise ist Atlas auch hier das letzte Zielobjekt. Außerdem werden einige innere Monde auch auf der letzten globalen Beobachtung von Saturn am 13. September 2017 zu sehen sein.
Titan gezielt (T126)	270	22. April 2017	> 980	70°–110°	Letzter naher, »gezielter« Titan-Vorbeiflug (T126), hierbei wird die Oberfläche mit Radar abgetastet.
Rhea	272	2. Mai 2017	373 000	91°	
Iapetus	276	30. Mai 2017	2,47 Millionen	11°	
Tethys (Sternbedeckung ε Ori)	277	6. Juni 2017	867 000	157°	Der Stern Epsilon Orionis wird anvisiert und von der unbeleuchteten Seite von Tethys im Lauf der Beobachtung kurzzeitig bedeckt.
Dione	280	22. Juni 2017	361 000	93°	Letzte Beobachtung, bei der dieser Mond »gut zu sehen« ist.
Enceladus Südpol	286	1. August 2017	> 250 000	130°	Die letzten Aufnahmen der Südhemisphäre von Enceladus.
Dione plumes	286	2. August 2017	730 000	152°	Dient der Suche nach Eruptionen (»plumes«) an der Oberfläche; Dione wird als schmale Sichel (zumeist überbelichtet) abgebildet.
Enceladus plumes	290	28. August 2017	870 000	156°	Kampagne zur Beobachtung der Eruptionen (»plumes«) wird abgeschlossen.
Irreguläre Monde (Thrymr)	291	6. September 2017	14,1 Millionen	20°	Thrymr, Durchmesser etwa 8 Kilometer, ist einer von 25 äußeren oder irregulären Saturnmonden, die von Cassini beobachtet wurden. Insgesamt sind 38 irreguläre Saturnmonde bekannt.
Saturn und Ringe global	293	13. September 2017	1,06 Millionen	138°	Siehe Bild auf S. 39 in SuW 4/2017.
Enceladus »byebye«	293	13. September 2017	1,34 Millionen	140°	Enceladus verschwindet hinter Saturn. Diese Bilder dienen PR-Zwecken, Enceladus erscheint nur sehr klein.
Titan »monitoring«	293	13. September 2017	780 000	82°	Letzte Aufnahme von Titan.
Ringe lokal (»Peggy«, Propeller)	293	14. September 2017	≈ 600 000	120°	Letzte Detailaufnahmen der Ringe, insbesondere von Strukturen im A-Ring.
Saturn (Einschlagstelle)	293	14. September 2017	≈ 600 000	124°	Die letzte Aufnahme durch die Kamera gilt der Einschlagstelle der Raumsonde auf dem Saturn. (Diese Information fehlt im Artikel in SuW 4/2017, weil sie uns erst nach Drucklegung erreicht hat.)

<sup>1</sup> Die Orbitangabe entspricht der offiziellen Zählung, tatsächlich hat Cassini schon 1,5 Runden mehr absolviert (siehe »Wie werden die Umläufe von Cassini gezählt?«).

<sup>2</sup> Die Spalte »Phasenwinkel« gibt den Beleuchtungsgrad an: 0° entspricht voll beleuchtet (»Vollmond«), 90° ist »Halbmond«, und 180° wäre »Neumond«.