

Komet Chury - Hat er beim Alter geschwindelt? [19. Nov.]

Die **Mission Rosetta** [1, 2] zum Kometen *67P/Churyumov-Gerasimenko* („Chury“) [1, 2] ist bereits seit über einem Monat Geschichte.

Die Kometenmission endete mit einem Absturz auf der Kometenoberfläche [2]. Die mehr als tausend Aufnahmen und Beobachtungen bzw. Messungen am und um den Kometen werden die Wissenschaftler wahrscheinlich noch viele Jahre beschäftigen. Das **Ziel der Kometenmission** war ein besseres Verständnis des Ursprungs und der Aktivität des Kometen.

I Wie haben die Beobachtungen des Kometen Chury die Vorstellung von Kometen verändert?

Lange waren die *Planetenforscher* [1] überzeugt, Kometen seien *schmutzige Schneebälle*, die hauptsächlich aus Eis bestehen sowie einer staubigen Oberfläche, die ihre *Reflexionseigenschaften* [1] beeinflusst. Daher erscheinen Kometen oftmals viel dunkler bzw. lichtschwächer als vermutet.

Die Dichte des Kometen Chury

Mithilfe der *OSIRIS-Kamera* [1, 2] der Kometensonde konnte die **Dichte** des Kometen zu rund 470 Kilogramm pro Kubikmeter bestimmt werden; das entspricht etwa der Hälfte des Wertes für Wassereis. Daher vermuten die Forscher, daß der Chury sehr porös ist und in seinem Inneren zahlreiche Leerräume besitzt. Auf der Oberfläche des Kometen existieren nur wenige Gebiete, die sich einwandfrei als Wassereisregionen identifizieren lassen.

Nur eine hohe Porosität von rund 70 Prozent gestattet eine dichtere Mixtur im Kometeninnern, mit einem höheren Anteil von Staub und einem geringeren Eisanteil; damit wären auch das Fehlen der Wassereisregionen auf der Oberfläche und die gemessene Dichte des Kometen zu erklären.



Abb. 1 Schematische Darstellung eines „eisigen Schmutzballs“.

Seit einigen Jahren diskutieren die Wissenschaftler, ob das Aussehen von Kometen nicht eher als „eisige Schmutzbälle“ anstelle von „schmutzigen Schneebällen“, mit

einem höheren Anteil von Staub anstelle von Eis, zumindest an der Kometenoberfläche, definiert werden sollte.

Chury scheint daher kein Eisball zu sein, der von einer Staubschicht eingehüllt ist, sondern eher eine **Mischung aus beidem**: der Begriff ***eisiger Schmutzball*** trifft bei Chury als Beschreibung eher zu als schmutziger Schneeball (Abb. 1).

Chury ist ebenfalls in anderer Hinsicht ein **ungewöhnlicher Komet**: Im Gegensatz zu früheren Kometenmissionen verbrachte Rosetta viele Stunden und Tage in der Nähe des Kometen, kam ihm meist näher als 500 Kilometer und konnte erstmals einen Kometen sehr detailliert studieren.

Die Chemie der Kometenkoma

Rosettas detaillierte Beobachtungen der *Kometenkoma* [1] deckten auf, dass innerhalb der Koma der gleiche Prozess aktiv ist, der für das nächtliche Leuchten in den Atmosphären der Erde und des Planeten *Mars* [1] verantwortlich ist (Abb. 2).

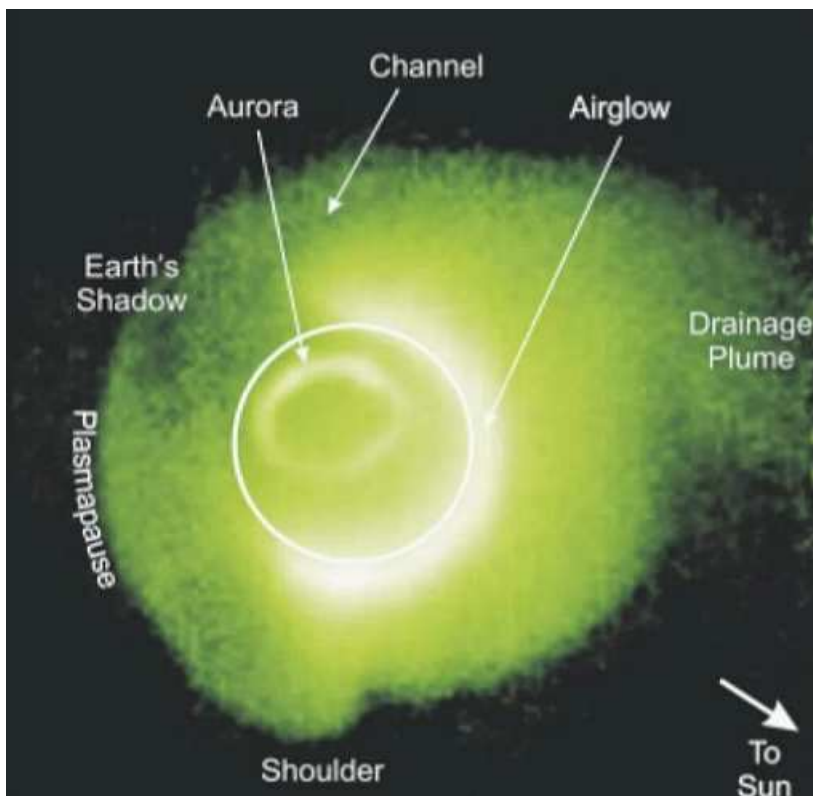


Abb. 2 Das „Glühen“ in Churys Kometenkoma.

Das helle Leuchten (Aurora) in der Koma des Kometen Chury entsteht ähnlich - wie in einigen Planetenatmosphären - durch chemische Prozesse (s. Text).

© ESA/yahw

Die Emission der daraus **resultierenden Strahlung** wird durch *Elektronen* [1] verursacht, die mit *Molekülen* [1] zusammenstoßen; dabei werden die Elektronen in den betreffenden Molekülen in einen *energetisch angeregten Zustand* [1] versetzt, der für die Emission eines *Photons* [1] sorgt. Dieser Prozess

wurde erstmals beim Kometen Chury verifiziert und während einer Dauer von 2 Jahren „vor Ort“ beobachtet.

Churys Kometenkoma enthält grosse Gasmengen, die dem porösen Kometen entkommen. Die Instrumente an Bord der Kometensonde konnten bei Chury erstmals **molekularen Sauerstoff** (O_2) [1] nachweisen. Dieses Molekül wurde niemals zuvor bei Kometen beobachtet. Chury besitzt molekularen Sauerstoff gegenüber Wassermolekülen im Verhältnis 0,05 : 1 (5 Prozent, d.h. pro 100 Wassermoleküle entdeckte Rosetta etwa 5 Sauerstoffmoleküle).

Bei Chury stellt der molekulare Sauerstoff mit einem Anteil von 3,8 Prozent das vierthäufigste Gas in der Kometenatmosphäre (nach Wasser, Kohlenmonoxid (CO) [1] und Kohlendioxid (CO_2) [1]). (Abb. 3)

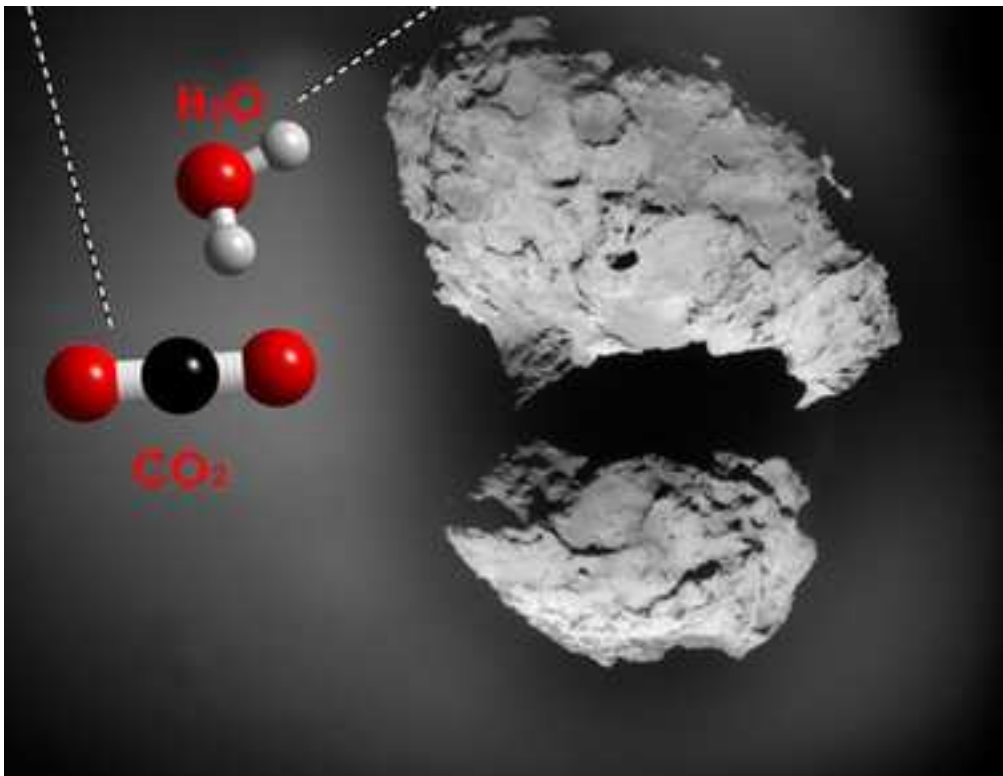


Abb. 3 Schematische Darstellung der häufigsten Molekülsorten in Churys Koma.
Zu Beginn der Mission waren die Forscher davon ausgegangen, dass Churys Koma hauptsächlich die Molekülsorten Kohlenmonoxid und Kohlendioxid beherbergt. Chury ist der erste Komet, in dessen Koma ein nicht vernachlässigbarer Anteil von Sauerstoffmolekülen beobachtet wurde.

© ESA/VIRTIS/yahw

Die **Sauerstoffmoleküle in Churys Koma** entstehen aufgrund der Aufspaltung durch die ultraviolette Sonnenstrahlung [1] ständig neu, durch das Verdampfen von Wassermolekülen. Unter interplanetaren Bedingungen ist der molekulare Sauerstoff relativ stabil.

Der molekulare Sauerstoff in Churys Kometenkoma konnte ebenfalls mithilfe von Beobachtungen nachgewiesen werden, die zeigen wie das Licht heller (entfernter) Sterne durch die Kometenkoma beeinflusst wird.

Molekularer Sauerstoff in der Koma von Kometen gilt als **Relikt des frühen Sonnensystems**: dabei blicken wir auf die ursprüngliche chemische Zusammensetzung der *protoplanetaren Scheibe* [1], aus der unsere Planeten, Monde, *Asteroiden* [1] und Kometen entstanden.

Die **Flüchtigkeit des molekularen Sauerstoffs** und die Leichtigkeit, mit der das Molekül einem kleinen Himmelskörper - wie einem Kometen - entkommen kann, gestalten die Beantwortung der Frage als schwierig wie Chury diese relativ grossen Mengen Sauerstoff während rund 4 Milliarden Jahren nach seiner Entstehung im *äusseren Sonnensystem* [1] beibehalten konnte - insbesondere im Hinblick auf die Tendenz von Kometen mit anderen kleinen Himmelskörpern zu kollidieren, was eher für ein Entkommen der flüchtigen Gase sorgen würde.

II Ist Chury tatsächlich viel jünger als angenommen?

Kometen bzw. deren Vorgängerobjekte bildeten sich im äusseren Planetensystem während der frühen Phase der Entstehung des Sonnensystems.

Unter den Forschern wird seit langem diskutiert, ob die Eigenschaften von Kometen - wie wir sie gegenwärtig beobachten - *primordial* [1] oder das Ergebnis von Kollisionen und/oder anderen Prozessen in der näheren Vergangenheit sind.

Beobachtungen der Kometensonde Rosetta haben ergeben, dass sich **Churys grundlegende Struktur** sehr wahrscheinlich während der Frühphase des Sonnensystems bildete, möglicherweise durch Kollisionen niedriger Geschwindigkeit, bei denen der Komet Material anderer kleiner Himmelskörper aufsameln konnte. Jedoch ist unklar, ob eine Struktur wie die von Chury dieses Szenario bis heute hätte überleben können.



Abb. 4 Künstlerische Darstellung der Folgen einer Kometenkollision.

Bisher waren die Forscher davon ausgegangen, dass Kometen Kollisionen mit anderen kleinen Himmelskörpern in der Frühphase der Entstehung des Planetensystems nicht hätten überleben können.

© NASA/JPL/CalTech

Eine **Studie** aus dem letzten Jahr [4] zeigte bereits, dass ein Himmelsobjekt der Größe Chury während seiner Entwicklung zahlreiche katastrophale Kollisionen hätte erfahren müssen und daher in seiner heutigen Gestalt kaum überlebt hätte (Abb. 3).

Einzig, wenn der Zerfall der primordialen Scheibe des Planetensystems, aus der auch Kometen entstanden, sehr früh stattgefunden hätte, wären Kollisionen von Körpern mit einigen Kilometern Durchmesser wesentlich weniger schadenbehaftet gewesen. Dennoch hätten nur wenige Himmelskörper dieses Szenario überstanden.

Ob ein Komet wie Chury dieses Kollisionesszenario bis heute überlebt hätte, hängt nicht nur von seiner dynamischen Entwicklung, sondern auch von der **Stärke des Kometenkerns** ab.

Neue Computersimulationen

Neue Computersimulationen scheinen darauf hinzudeuten, daß **Chury doch wesentlich jünger ist** als bisher angenommen. Demnach hat der Komet sein heutiges Aussehen wahrscheinlich erst vor etwa einer Milliarde Jahren erhalten (Abb. 5).

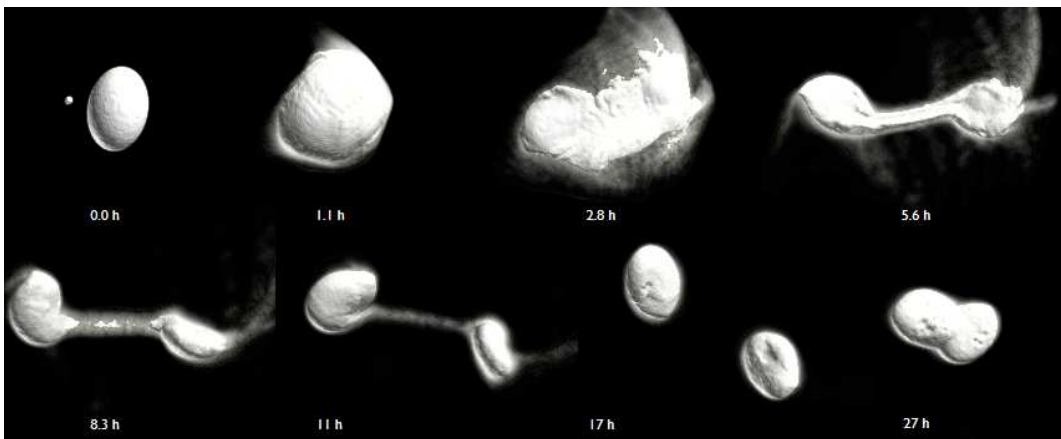


Abb. 5 Simulation zur Änderung der Form von Kometen durch eine Kollision.

Die Simulation [4] zeigt wie ein Komet wie Chury in seiner wahrscheinlich ursprünglichen Form durch eine Kollision eines kleinen Himmelskörpers (Durchmesser 200 Meter, Geschwindigkeit 300 Meter/Sekunde) zwar nicht zerstört, jedoch seine Form entscheidend verändert wird. Nach der anfänglichen Kollision entstehen nach einigen Stunden zwei getrennte Kometenteile. Dabei könnten Schichten im Kern des Kometen entstehen. Die beiden Kometenteile bleiben jedoch weiterhin gravitativ aneinander gebunden und kollidieren nach etwa einem Tag; dabei bilden sie eine hantelartige Struktur wie wir sie gegenwärtig bei dem Kometen Chury beobachten.

© [4]

Bisher gingen die Wissenschaftler davon aus, dass Chury fast so alt ist wie unser Sonnensystem und seine zweigeteilte Struktur durch eine „sanfte“

Kollision mit einem anderen Himmelsobjekt entstand.

Eine neue sowie eine ältere Studie [3] scheinen diese Meinung zu verwerfen. Dabei greifen Schweizer Forscher auf die Frage zurück, wieviel Energie man benötigen würde, um Chury's Struktur zu zerstören. Chury besitzt eine hantelartige Form, bei der die beiden Enden durch eine schmalere Verbindung (*Halsstruktur* [2]) miteinander verbunden sind.

Die **Simulationen** zeigen, dass eine hantelförmige Kometenstruktur relativ einfach zerstört werden kann, auch durch Kollisionen (mit einem anderen kleinen Himmelskörper), an denen geringe Geschwindigkeiten beteiligt sind - ähnlich einem Glas, dessen Stiel beide Teile bzw. Enden miteinander verbindet (Abb. 6).



Abb. 6 Schematische Darstellung des Brechens eines Glasstiels.

© capitaincork.com

Die Forscher vermuten aufgrund ihrer Simulationen, dass sich Chury's Halsstruktur vielmehr aufgrund zahlreicher **Kollisionen** über einen Zeitraum von Milliarden Jahren entwickelt hat. Dabei soll das heutige Aussehen von Chury wahrscheinlich das Ergebnis einer letzten grösseren Kollision innerhalb der letzten Milliarden Jahre sein.

Wenn die Simulationen Recht behalten, würde dies bedeuten, dass Kometen zwar aus primordialem Material aus der Frühphase unseres Sonnensystems bestehen, jedoch ihre Form aufgrund zahlreicher Kollisionen im Laufe ihrer Entwicklung verändern können. Alternativ hätte es zu Beginn des Planetensystems weniger kleine Himmelsobjekte und damit weniger Kollisionen gegeben als bisher angenommen.

Die **zweite Studie** [3] beschäftigt sich mit Kollisionsmodellen, die die Form des Kometen Chury deutlich hätten verändern können. Dabei ließen die Wissenschaftler mithilfe von Simulationen kleine Himmelsobjekte mit Durchmessern von 200-400 Metern mit einem grösseren rotierenden Körper (Durchmesser 5 Kilometer) kollidieren.

Zwar beobachteten die Wissenschaftler bei ihren Simulationen eine relativ hohe *Einschlagsgeschwindigkeit* [1] (rund 1 Meter pro Sekunde), jedoch war die bei der Kollision beteiligte Energie zu niedrig, um den Kometen zu pulverisieren. Stattdessen brach der Komet in zwei Teile, die anschliessend aufgrund ihrer gegenseitigen gravitativen Anziehung wieder miteinander verschmolzen und eine Struktur ausbildeten, die dem Kometen Chury gleicht (Abb. 4, 7).

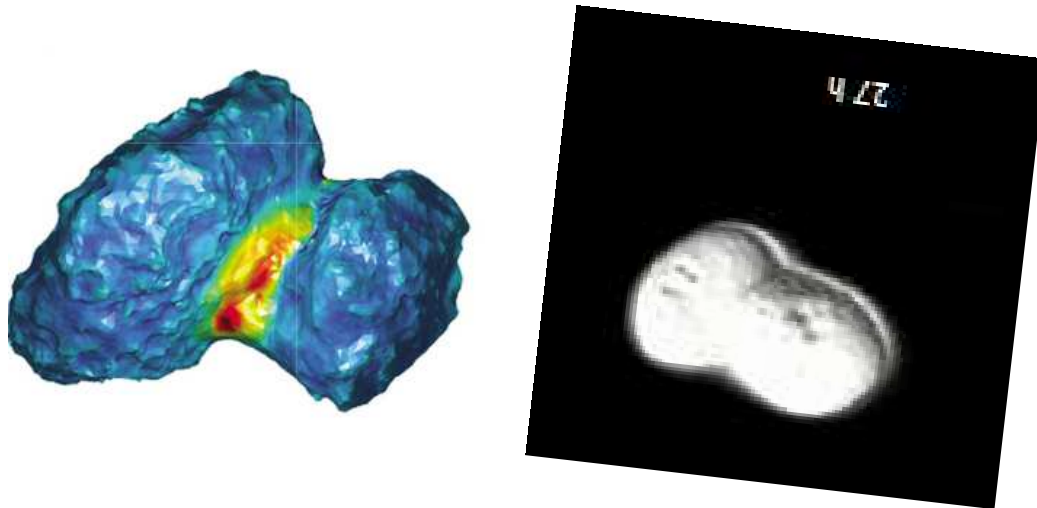


Abb. 7 Vergleich der Form des Kometen Chury: Beobachtung - Simulation.
Vergleicht man die hantelförmige Struktur des Kometen Chury (links) mit Simulationen (rechts), die von einer erst kürzlichen Kollision des Kometen mit einem anderen kleinen Himmelskörper ausgehen, ergeben die Computersimulationen ähnliche Kometenformen wie die von Chury.

© [4]

FAZIT

(1) Kollisionen

Die Analyse der Kollisionswahrscheinlichkeit von Chury mit anderen Himmelskörpern während der Frühphase des Sonnensystems und der Ausbildung seines zweigeteilten hantelförmigen Aussehens deutet an, dass die **letzte Kollision des Kometen Chury** wahrscheinlich erst 250 Millionen bis 1 Milliarde Jahre zurückliegt, also in der unmittelbaren Vergangenheit des Sonnensystems und nicht während der Frühphase erfolgte.

(2) Porosität

Simulationen in Bezug auf die Aufheizung von Chury und die Entwicklung der Porosität während und nach möglichen Kollisionen zeigen, dass Kometen nach Kollisionen relativ „primitiv“ aussehen können. Die Kometen können weiterhin eine relativ hohe Porosität besitzen und ihre flüchtigen Gase beibehalten haben, da Kollisionen mit niedrigen Geschwindigkeiten im allgemeinen nicht zur großskaligen Aufheizung des Materials im Kometeninnern führen.

Die Erklärung: Kollisionen, die mit niedrigen Geschwindigkeiten erfolgen, sind laut der Simulationen nicht imstande, einen Kometenkern ausreichend aufzuheizen, so dass die Mehrheit der flüchtigen Gase verlorengelht. Jedoch könnten diese Kollisionen einen zweigeteilten Kometen - wie Chury - zur Folge haben.

Alternativ könnte eine erneute *Akkretion* [1] von Material eines grösseren Himmelskörpers mit einer ähnlichen Form stattgefunden haben. Beide Szenarien hätten Chury dazu verhelfen können grosse Mengen primordialer flüchtiger Stoffe anzusammeln. Dennoch enthält Churys Kern noch immer wertvolle Information über die frühe protoplanetare Scheibe.

Unser gegenwärtiges Verständnis der Dynamik kleiner Himmelskörper im äusseren Sonnensystem weist darauf hin, dass die jetzige Form des Kometen Chury nicht primordial sein kann, sondern eher das Ergebnis seiner letzten Kollision mit einem anderen kleinen Himmelskörper.

Stellen diese Untersuchungen das bisherige Wissen über das Alter des Materials in Kometen auf den Kopf?

Nein, antworten die beiden Wissenschaftler [4]. Ihre Computersimulationen zeigten, dass geringe Kollisionsenergien einen Kometen weder ausreichend aufheizen noch komprimieren könnten. Der Komet behalte seine Porosität bei sowie die flüchtigen Stoffe. Die Forschungsarbeit zeige, dass das ursprüngliche Material von Kometen **seine ursprüngliche Form nicht beibehalte, jedoch im Weiteren die gleiche Zusammensetzung aufweise.**

III Grosse Kohlendioxid-Eisregion auf Chury entdeckt

... Beobachtung ist bereits 18 Monate alt

Kohlendioxid ist eines der auf Kometen am häufigsten vorkommenden Materialien, jedoch verflüchtigt es sich aufgrund seiner niedrigen *Verdampfungstemperatur* [1] schnell von der Kometenoberfläche (*Sublimation* [1]); daher findet man Kohlendioxid meist nur unterhalb der Oberfläche von Kometen.

Mithilfe der *Infrarot-Spektroskopie* (VIRTIS) [1] eines **kohlendioxidreichen Oberflächengebietes** in der *Anhur-Region* [1] im März 2015 weist die Analyse der Daten eines 80x60 Meter grossen Gebietes darauf hin, dass es aus etwa 0,1 Prozent Kohlendioxideis (*Trockeneis* [1]) besteht (Abb. 8).

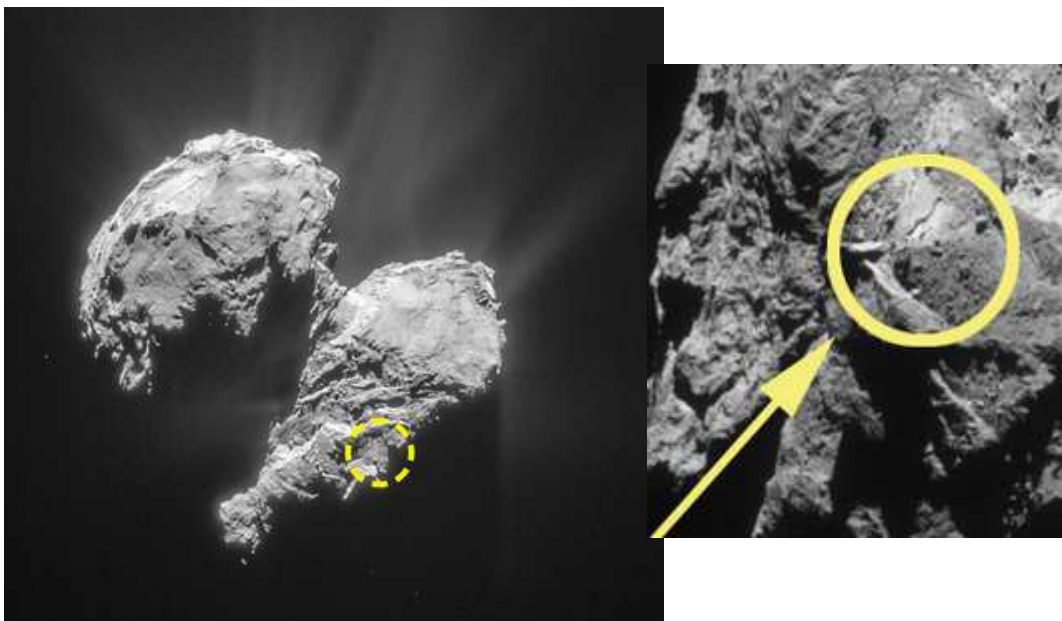


Abb. 8 Lage des Kohlendioxideis-Bereiches in der Anhur-Region.

Bereits vor mehr als einem Jahr beobachtete die Kometenmission Rosetta das Auftauchen eines grösseren Kohlendioxid-Bereichs in der Anhur-Region (gelb).

© ESA/Rosetta/VIRTIS/INAF

Die Wissenschaftler berechnen eine Eisdicke des Gebietes zu etwa 9 Zentimetern und eine Eismenge von insgesamt 57 Kilogramm.

Die Beobachtung der Eisregion erfolgte während der lokalen Winterzeit; in der darauffolgenden Beleuchtung der Region durch die Sonne verschwand das Kohlendioxideis für rund 3 Wochen vollständig von der Kometenoberfläche. Bei der Beobachtung handelt es sich um die **erste Beobachtung dieser Eiskomponente** an der Oberfläche von Chury.

Nach dem Verschwinden der Eisregion wurde in dem Gebiet ein stärkerer Blauanteil des (rückgestreuten) Lichtes beobachtet sowie einen Monat später zwei grosse Flecken Wassereis, das möglicherweise aus Schichten stammt, die sich unterhalb der Kohlendioxid-Eisschicht befanden.

Die Forscher deuten die Anwesenheit des Kohlendioxideises als Ergebnis **extremer jahreszeitlicher Schwankungen** aufgrund der Rotation und der Bahn des Kometen um die Sonne; dabei unterliegt der Kohlendioxideis-Zyklus wahrscheinlich eher dem 6,5-jährigen Kometenbahnzyklus, während die Schwankungen des Auftretens von Wassereis sich täglich bemerkbar machen.

Über weitere Ergebnisse zum Kometen Chury werden wir Sie auf dem Laufenden halten.

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 astronomische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Artikelserie zum Kometen *Chury*
http://ig-hutzi-spechtler.eu/aktuelles_rosetta_hauptseite.html

[3] Mehr Information über Simulationen zu Kollisionen von Kometen bzw. zur Form von Chury
Universität Bern
<http://www.unibe.ch>
und

Jutzi, M., Benz, W., et al, *A&A*, Received 19 May 2016, Accepted 24 Oct 2016
Jutzi, M., Benz, W., *A&A*, Submitted 8 Nov 2016
Jutzi, M., Asphaug, E., *Science* (28 May 2015)

[4]

Morbidelli, A., Rickman, H., *A&A* 583 (Nov 2015)
Davidsson, B. J. R., et al., *A&A* 592, A63 (2016)

[5]

Filacchione, G., et al., *Science* (17 Nov 2016)
Fornasier, S., et al., *Science* (17 Nov 2016)
<http://sci.esa.int/rosetta/58579-first-detection-of-carbon-dioxide-at-a-comet/>