

Rob's Nieuwsbrief over sterrenkunde en het heelal

maart 2015

Comet Special

Komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko

Ik wilde in deze nieuwsbrief iets schrijven over wat Rosetta ons heeft geleerd over de komeet. Dat is een beetje uit de hand gelopen, met zes pagina's, zodat het feitelijk een *Rosetta Comet Special* is geworden. Dat was niet per ongeluk overigens. De komeet zal onderdeel zijn van de nieuwe lezing *Kleine werelden van het zonnestelsel* en op deze manier heb ik al een goed overzicht om dat hoofdstuk in te vullen. En zo heb ik ook een uitstekend beeld gekregen van alle beschikbare foto's. De lezing schiet alleen niet erg op zo, natuurlijk. Maar ik hoop de lezers hiermee een plezier te hebben gedaan.

Veel informatie is er feitelijk niet. Heel veel verschijnselen op het oppervlak zijn nog raadsels. Dat zal uiteraard wel snel veranderen. Wetenschap kost nu eenmaal tijd.

Zonsverduistering 20 maart!

Op 20 maart kunnen wij (als het mooi weer is) 's ochtends een gedeeltelijke zonsverduistering zien! Via onze website kun je een **gratis brochure** downloaden, *Veilig zonnekijken*, waarin ook meer informatie staat over de verduistering. De link staat op de home page.

De enige veilige manier om met het blote oog naar de zon te kijken is met een speciale **eclipsbril**. Zo'n eclipsbril is niet alleen tijdens een zonsverduistering (of **eclips**) handig, maar ook als er grote zonnevlekken op de zon zichtbaar zijn. Hoe je weet of er zonnevlekken te zien zijn? Via www.spaceweather.com krijg je dat soort informatie (ook over poollicht e.d.), en kun je een foto van de zon zien die op die dag is gemaakt door de SDO (Solar Dynamics Observatory).

Om de zon meer in detail te zien kun je het beste naar een sterrenwacht of sterrenkundevereniging in de buurt gaan. Zij hebben telescopen met speciale zonnefilters en de kennis om alles over de zon te vertellen!

Rob Walrecht eclipsbrillen

Nu te bestellen

Wij hebben nu eigen eclipsbrillen! Ze bevatten (uiteraard) onze bedrijfsinformatie, maar geheel in onze stijl ook plaatjes van zonnevlekken en andere verschijnselen op de zon.

De nieuwe eclipsbrillen zijn dus ruim op tijd voor de gedeeltelijke zonsverduistering van 20 maart, en kosten nu nog slechts 2 euro per stuk. U kunt ze bestellen via de website, onder:

Boeken, posters en andere producten
en dan:

Speciale sets.

Je kunt ook een eclipsbril bestellen met daarbij een van de brochures.

Ceres

Het aftellen is begonnen

Nou ja, dat aftellen is natuurlijk al lang aan de gang, maar op 6 maart komt *Dawn* in een baan om de planetoïde/dwergplaneet Ceres! De foto's hieronder zijn van 19 februari, toen Dawn op circa 50.000 km afstand was. Je ziet al veel details op deze wereld die we tot voor kort alleen kende van de foto van de *Hubble Space Telescope* uit 2004 (zie fotootje rechts).

Dat gaat wel veranderen de komende tijd. In haar baan nadert *Dawn* de dwergplaneet tot minder dan 1500 km! De *Dawn*-opnamen van Vesta, uit 2011-2012, laten zien waartoe de Europese sonde in staat is. Het wordt dus heel spannend! Je moet bij dit alles bedenken dat Ceres het grootste lid van het zonnestelsel is dat **voor de eerste keer** van nabij wordt bekeken, sinds 1989! In augustus van dat jaar scheerde de Voyager 2 langs Neptunus en zijn grote maan Triton (Triton wordt overigens gezien als de grote broer van Pluto, die in juli door New Horizons wordt bezocht).

Om in de stemming te raken voor deze missies raad ik aan onze brochure *Kleine werelden van het zonnestelsel* te lezen (zie kader). Daarin vind je alles over Pluto en Ceres dat we nu weten.

Deze nieuwsbrief verschijnt circa tien maal per jaar en bevat:

- ★ *Nieuws en leuke weetjes over het heelal;*
- ★ *Leuke, leerzame lesactiviteiten voor scholen;*
- ★ *Nieuws over Rob Walrecht Productions;*
- ★ *Speciale aanbiedingen.*

Je kunt je aan- of afmelden via www.walrecht.nl.

Brochure Kleine werelden

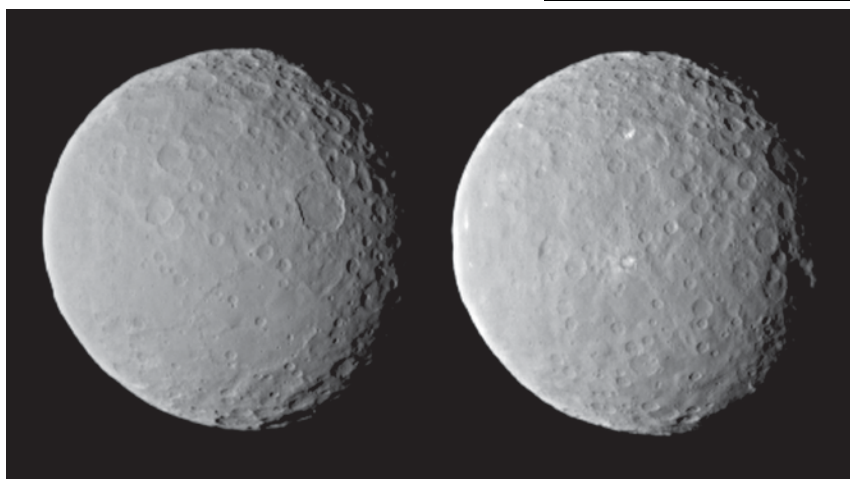
We hebben nog exemplaren van deze brochure, over de bezoeken aan Ceres en Pluto, dit jaar. Ze zijn gratis bij bestellingen, maar als je alles al hebt kun je hem ook los bestellen. Laat dat dan even weten. Ik vind het belangrijk dat lezers van deze nieuwsbrief ook die brochure kunnen lezen.

Ook kan ik deze brochure gratis bij eclipsbrillen doen. Vraag dat dan bij je bestelling!

Linksonder: de nieuwe eclipsbril, voor slechts 2 euro bij ons te bestellen.

Hieronder: de beste foto die we tot dit jaar hadden van Ceres (Hubble Space Telescope, 2004).

Rechtsonder: de beste foto's van Ceres die we nu hebben (Dawn, 19 februari 2015).



Relatief en absoluut

We zien sterren van diverse helderheden: lichtzwakke en heldere sterren. De zon is de helderste ster - aan de hemel tenminste. Dat komt doordat de zon erg dichtbij staat. De dichtstbijzijnde volgende ster staat 265.000 maal verder dan de zon! Er zijn sterren die lichtzwakker zijn dan de zon maar er zijn ook reuzensterren die duizenden tot miljoenen malen helderder zijn! Die staan meestal zo ver weg dat wij ze niet of nauwelijks met het blote oog kunnen zien. Daarom spreken we van de **schijnbare** helderheid (wat wij zien) en de **absolute** helderheid (gezien vanaf een afstand van 32,6 lichtjaar).

Foto's onder: de Trifidnevel, in de BOOGSCHUTTER, in zowel zichtbaar licht (onder) als nabij-infrarood. Het is hier niet mogelijk de Cepheïden aan te geven. Foto ESO.

Zo zie je hem, zo...

De Trifidnevel in zichtbaar en infrarood licht

Het stof en gas in de schijf van de Melkweg is de voedingsbodem voor nieuwe sterren. Daarom vinden we in de Melkweg veel stervormingsgebieden en open sterrenhopen (groepen van tientallen tot honderden jonge hete, dus blauwe sterren die ongeveer tegelijk zijn 'geboren').

Die stervormingsgebieden zien we als fraaie, wazige ('diffuse') nevels. De UV straling van zware jonge sterren ioniseert het waterstofgas in de buurt, zodat dat gas rood gaat oplichten (H-alfa licht). Dat zijn emissienevels ('emissie' betekent uitzending). Stof in de buurt wordt beschreven door het blauwe licht van de jonge sterren: reflectienevels. Op foto's van dit soort nevels zie je dus veel rode en blauwe gebieden. Door een telescoop zie je dat niet zo, omdat onze ogen 's nacht erg ongevoelig zijn voor rood licht (vandaar dat de cockpit van vliegtuigen rode verlichting heeft, want de piloot moet 's nachts natuurlijk ook goed naar buiten kunnen kijken). De foto's op deze pagina zijn van M20, de Trifidnevel ('drielobbig' nevel). Dit stervormingsgebied ligt op ca. 5200 lj afstand. Linksonder zie

je hem in zichtbaar licht (een camera 'ziet' wel gewoon rood licht). Je ziet een rood deel, waar jonge sterren zijn begonnen het resterende gas te ioniseren en in feite weg te branden; en een blauw deel waar dat gas al verdwenen is en het stof blauw wordt verlicht. Koude wolken van gas en stof waarin nog geen stervorming is begonnen zie je hier donker.

Achter de Trifidnevel kunnen we niets zien. Niet in zichtbaar licht tenminste.

Infrarood

Dat geldt niet voor straling met een langere golflengte, zoals infrarood. Infrarood licht dringt door het stof en gas heen.

De Europese Zuidelijke Sterrenwacht (ESO) heeft een speciale 'survey' telescoop die de hemel scant in nabij-infrarood: de Visible and Infrared Survey Telescope for Astronomy - VISTA. De bovenste van de twee opnamen van M20 is gemaakt door die VISTA.

Je ziet dat de blauwe en rode (zichtbare!) nevelgebieden daarop niet zichtbaar zijn. De opname lijkt een 'geest' van de nevel zoals wij die kennen, met bijna onzichtbare stofsluier die de typische vorm van M20 nauwelijks te zien is.

Standaardkaarsen

Dat gemis wordt echter gecompenseerd doordat we nu ook kunnen zien wat er achter de nevel ligt. Zo zien we een paar pulserende veranderlijke sterren van het type Cepheïde, op ca. 37.000 lichtjaar. Dat is verder dan het centrum van het Melkwegstelsel, op zo'n 27.000 lj! Op de infrarood opname op deze pagina is het niet mogelijk om die twee sterren aan te geven, daarvoor is een detailbeeld nodig.

Cepheïden vormen een klasse van heldere, instabiele sterren. Ze worden langzaam helderder, vervolgens weer zwakker, dan weer helderder, enzovoorts. Dat gebeurt met een **periode** die afhankelijk is van de lichtkracht van de ster. De **lichtkracht** is de hoeveelheid licht die een ster in werkelijkheid uitstraalt, ongeacht de afstand. Grote, zware sterren stralen meer licht uit dan kleine, lichte sterren. We spreken van de **absolute helderheid** (zie kader). De periode en de lichtkracht zijn bij Cepheïden dus met elkaar verbonden: een ster met een periode van 30 dagen is zes maal zo helder als een ster met een periode van drie dagen. Om die reden gebruikt men Cepheïden om afstanden te bepalen tot sterrenstelsels in de 'buurt'. Objecten met een voorspelbare absolute helderheid noemen we **standaardkaarsen**: als je twee exact gelijke kaarsen hebt op verschillende afstand, dan staat de kaars die je het zwakst ziet het verst weg.

De Cepheïden op de opname zijn de helderste sterren van een open sterrenhoop. En het zijn de enige variabele sterren van het type Cepheïden die zo dicht bij het vlak van het Melkwegstelsel, maar aan de andere kant van het centrum zijn gevonden. Hun periode is elf dagen.



Nieuw chocolade ijs?

Mars niet overal rood

Nee, de foto hieronder is niet van Hertogs nieuwste chocolade ijs. Het is een foto van Mars' zuidpoolgebied. Het laat zien dat Mars niet overal rood is.

De Europese sonde *Mars Express* maakte op 17 december 2012 diverse opnamen van de poolkap van de kleine planeet met de High Resolution Stereo Camera (HRSC), in infrarood, groen en blauw licht (zie kader). Bill Dunford maakte een bewerkte compilatie van de opnamen, met deze foto als resultaat.

Het helder witte gebied op de foto is de ijskap, die bestaat uit bevroren water en kooldioxide. Die ijskap lijkt glad, maar op detailopnamen zie je dat het een mix is van pieken, dalen en vlakten. De zuidpoolkap is tot 3 km dik en heeft een diameter van 350 km (de diameter van Mars is ongeveer de helft van die van de aarde). Dit ijzige gebied is permanent. In de Marswinter ontstaat er een andere, dunnere ijskap overheen, met een grotere diameter. In de zomer, als het warmer is, verdwijnt die weer.

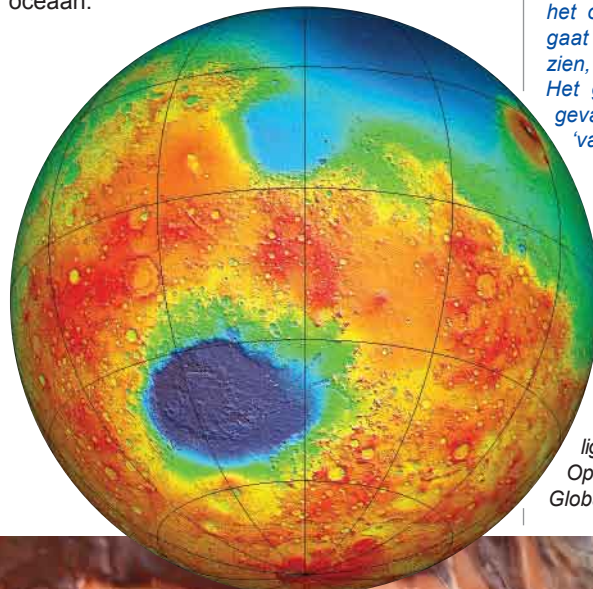
De ijskap ligt ongeveer 150 km noordelijker dan de geografische zuidpool. *Mars Express* heeft aangetoond waarom de ijskap op een andere plek ligt. Diepe **inslagbekkens** (dat zijn de grootste inslagkraters) hebben invloed op de winden. Het Hellas-bekken (zie de afbeelding hiernaast) is een 2300 km grote 'deuk' in de zuidelijke hooglanden, omringd door een 8 km hoge ring (de kraterrand). Sterke Marswinden worden door die enorme obstakels naar de zuidpool gestuurd. Daarbij ontstaan diverse lage- en hogedrukgebieden. De atmosferische druk bepaalt de mate (snelheid) waarin het kooldioxide in de poolkap sublimiert. De enigszins uitgerekte vorm van deze poolkap wordt door dat proces bepaald.

De noordelijke ijskap is overigens veel groter: 1200 km in diameter. Dat is het grootste bekende waterreservoir van Mars. Meer over Mars lees je in mijn boek *Genieten van het zonnestelsel*.

Hoogtekaarten

Er is een serie 'globes' (speciale projecties) van Mars, met hoogteverschillen aangegeven in kleuren. De informatie die voor deze afbeeldingen is gebruikt kwam van de *Mars Global Surveyor*, die vanaf 1996 haar werk deed, tot zij er in 2006 spontaan mee ophield. Er is overigens ook een echte globe van beschikbaar, de Mars Topography Globe van Sky & Telescope. Die heb ik helaas nog niet...

Op de afbeelding hieronder zie je de zuidelijke hooglanden (geel tot rood). Het blauwe deel aan de bovenkant bestaat uit vlakten die zich over het hele noordelijke halfrond uitstrekken. Toen Mars nog veel vloeibaar water had bestond de helft van het oppervlak dus mogelijk uit oceaan.



Beelden uit de ruimte

Wij zijn gewend om kleurenfoto's te maken. Gewoon op de knop drukken en je hebt een beeld in de natuurlijke kleuren. Bij ruimtesondes werkt dat anders. Opnamen worden gemaakt in zwartwit. Dat gebeurt nu met CCD's, maar in het verleden zijn allerlei methoden gebruikt. Wil je daarover meer weten, kijk dan eens op de website van mijn broer Hans. Hij heeft er een uitgebreid overzicht over gemaakt:

www.hansonline.eu/beelden/index.htm

Als kleur belangrijk is maakt men meerdere zwartwit opnamen met behulp van filters. Op Aarde bewerkt men de informatie om kleurenfoto's samen te stellen. Daarbij worden met behulp van de computer kleuren aan de informatie toegekend, zeker als het om golflengtegebieden gaat die wij niet kunnen zien, zoals infrarood of UV. Het gaat dan ook in veel gevallen om zogenaamde 'valse kleuren'.

Hieronder: het zuidpoolgebied van Mars, gefotografeerd door de *Mars Express* op 17 december 2012 en bewerkt door Bill Dunford.

Inzet: een hoogtekaart van het deel van Mars waar het Hellas-bekken ligt: de donkerblauwe plek. Opname van NASA's *Mars Global Surveyor*.



OSIRIS

Rosetta heeft elf instrumenten voor het onderzoek van de komeet. Het belangrijkste systeem om foto's te maken is de *Optical, Spectroscopic, and Infrared Remote Imaging System*, of OSIRIS. Deze in Duitsland gemaakte camera heeft een telelens (700 mm), een groothoeklens (140 mm), en een 2048x2048 pixel CCD chip. De naam geeft al aan dat de camera in zichtbaar licht én infrarood opnamen maakt. Spectroscopie maakt gebruik van de wisselwerking tussen materie en straling van verschillende golflengten (en dus van verschillende energie). Zo reflecteren of absorberen stofkorrels van verschillende grootte het licht anders, zeker bij verschillende golflengten.

Linksonder: de komeetkern in verschillende standen. De paarse pijl geeft de rotatieas aan. De groene en rode pijlen liggen in het equatoriale vlak van de komeet.

Middenonder: hier zie je de vreemde badeend-vorm van de komeet goed.

Rechtsonder: de afmetingen van de komeet.

Rosetta Komeet Special!

Een verrassende kleine wereld

Zoals elk zonnestelselobject verrast de komeet 67P/Churyumov-Gerasimenko ons met opvallende oppervlakteverschijnselen en processen die bijdragen aan zijn activiteit als komeet. Het artikel dat nu volgt is wat groot geworden. Dat heeft onder andere te maken met het feit dat ik op deze manier ook een eigen overzicht heb voor het deel over deze komeet in mijn nieuwe lezing *Kleine werelden van het zonnestelsel*. Deze nieuwsbrief is daardoor feitelijk een Rosetta Komeet Special geworden! Ik hoop dat je het niet erg vindt.

Rosetta

Inmiddels is de ruimteverkenner niet meer in een baan om de komeetkern, maar voert zij scheervluchten uit (*flyby's*). Ongeveer eens in de drie dagen is er zo'n flyby. Van 4 februari tot en met 8 maart waren er tien, variërend van 253 km (17 februari) tot de dichtste nadering: op slechts 6 km van het oppervlak (op 14 februari 2015). Op die manier, dus door Rosetta verschillende trajecten te geven, hoopt men een completer beeld te krijgen van de omgeving van de komeet, om zo het ontstaan en de ontwikkeling van de atmosfeer (de **coma**) beter te leren begrijpen. Verder leert men zo meer over het oppervlak van de komeetkern en kan men bepalen welke *organische verbindingen* er voorkomen (zie kader op pagina 6), en hoe groot de stofkorrels zijn (door spectroscopie, zie kader OSIRIS, links).

Levenbrengers?

Je weet waarschijnlijk dat Rosetta ook antwoord moet geven op de vraag of kometen hebben bijgedragen aan het ontstaan van leven op onze planeet, door hier water en de bouwstenen van het leven te brengen (organische verbindingen). Robs Nieuwsbrief van december/januari vertelt hoe het met dat water zit. Dit jaar zullen steeds meer gebieden in beeld komen en deze zomer bereikt de komeet zijn grootste activiteit, als hij dichterbij de zon komt. Rosetta zal dan op de eerste rang 'zitten' maar zal hard moeten werken om alles te observeren, te meten en vast te leggen.

Vorm van de komeet

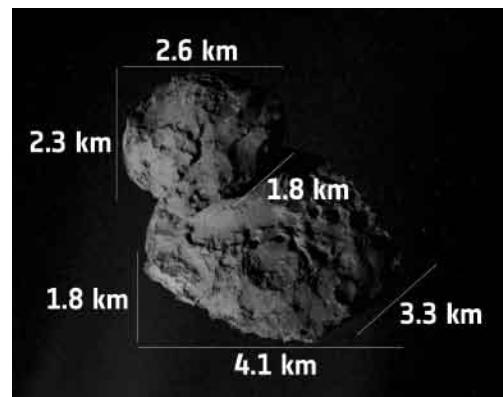
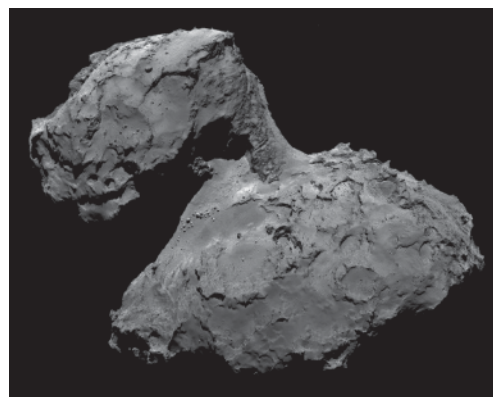
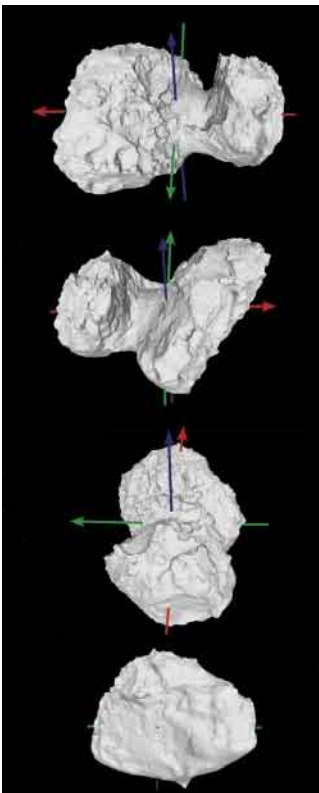
De komeet ziet er uit als een badeend, met een kleiner 'hoofd' (2,6 x 2,3 x 1,8 km) en een groter 'lijf' (4,1 x 3,3 x 1,8 km), verbonden door een smalle 'nek'. Hoe de komeet aan die vorm komt is een mysterie. De twee grote delen lijken identiek qua samenstelling, wat de hypothese versterkt dat het een groter object is geweest dat door erosie deze vorm heeft gekregen. Toch is het op basis van de huidige gegevens niet uitgesloten dat de komeet ooit ontstond toen twee kometen samensmolten. Dit is een *key question* bij het onderzoek dit jaar, als komeet en Rosetta gezamenlijk rond de zon vliegen.

Fysische gegevens

De komeet is 4,8 km lang. Het totale volume kan de komeet is 21,4 km³, de massa ongeveer 10 miljard ton en de dichtheid 0,47 g/cm³: minder dan de helft van de dichtheid van water! Komeetkernen bestaan voornamelijk uit waterijs en stof (kleine deeltjes mineralen, of gesteenten). De gemiddelde dichtheid die bij die samenstelling hoort, als het om een compact object gaat, is 1,5 tot 2,0 g/cm³. Dat geldt voor Pluto en veel andere ijsdwergen. Die lage dichtheid betekent dus dat de komeetkern erg poreus is (porositeit 70-80 procent), ofwel vol gaten zit. De inwendige structuur is waarschijnlijk opgebouwd uit klonten ijs en stof die losjes aan elkaar geklit zitten, met daartussen veel lege ruimten.

De door Rosetta gemeten temperaturen aan het oppervlak liggen tussen -93° en -43°C. De temperaturen net onder het oppervlak liggen tussen -243° (30 K!) en -113°C (gemeten door het instrument MIRO).

Het **albedo** (de 'witheid') is het lichtweerkaatsend vermogen van een object, weergegeven als een getal dat onder de 1 ligt (1,00 betekent dat 100 procent van het licht wordt weerkaatst; verse sneeuw weerkaatst maximaal 95%). Het albedo van de komeet is 0,06: 6% van het licht wordt dus weerkaatst. Daarmee komt het in de buurt van asfalt van middelbare leeftijd... Dat is trouwens heel normaal voor kleine zonnestelselobjecten. De meeste komeetkernen zijn zelfs iets donkerder (4%).



Het landschap

De camera, OSIRIS (zie kader pagina 4), heeft nu ongeveer 70 procent van het oppervlak in kaart gebracht. De nog onbekende 30 procent ligt op het zuidelijke halfrond dat nog niet volledig in het zonlicht is gekomen sinds Rosetta bij de komeet arriveerde.

De Rosetta wetenschappers hebben het nu bekende oppervlak van de komeet onderverdeeld in 19 duidelijk afgebakende gebieden. Die gebieden hebben namen van goden van het oude Egypte en zijn in vijf groepen ondergebracht naar de dominante terreinsoort in het gebied. Die vijf hoofd-terreincategorieën zijn:

- bedekt met een stoflaag (Ma'at, Ash en Babi);
- broos materiaal met kuilen (of putten) en ronde structuren (Seth);
- grote 'depressies' of laagvlakten (Hatmehit, Nut en Aten);
- terrein met een glad oppervlak (Hapi, Imhotep en Anubis);
- rotsachtig terrein (Mafet, Bastet, Serqet, Hathor, Anuket, Khepry, Aker, Atum en Apis).

IJs en stof

Veel van het noordelijke halfrond is bedekt met stof. In de buurt van de zon warmt het ijs van de komeet op en verdampt het (het gaat in de ruimte rechtstreeks over van ijs naar damp, door *sublimatie*). Het ijs verlaat het oppervlak met grote snelheid, als 'jets' (vergelijkbaar met de werking van een straalmotor), omdat er nauwelijks zwaartekracht is om het tegen te houden. Daarbij wordt de *coma* gevormd, een soort atmosfeer van de komeetkern. Stof wordt

daarbij door het wegvliegende gas meegesleurd, met iets lagere snelheden. Stofdeeltjes die niet snel genoeg bewegen vallen door de zwakke aantrekkingskracht terug naar het oppervlak.

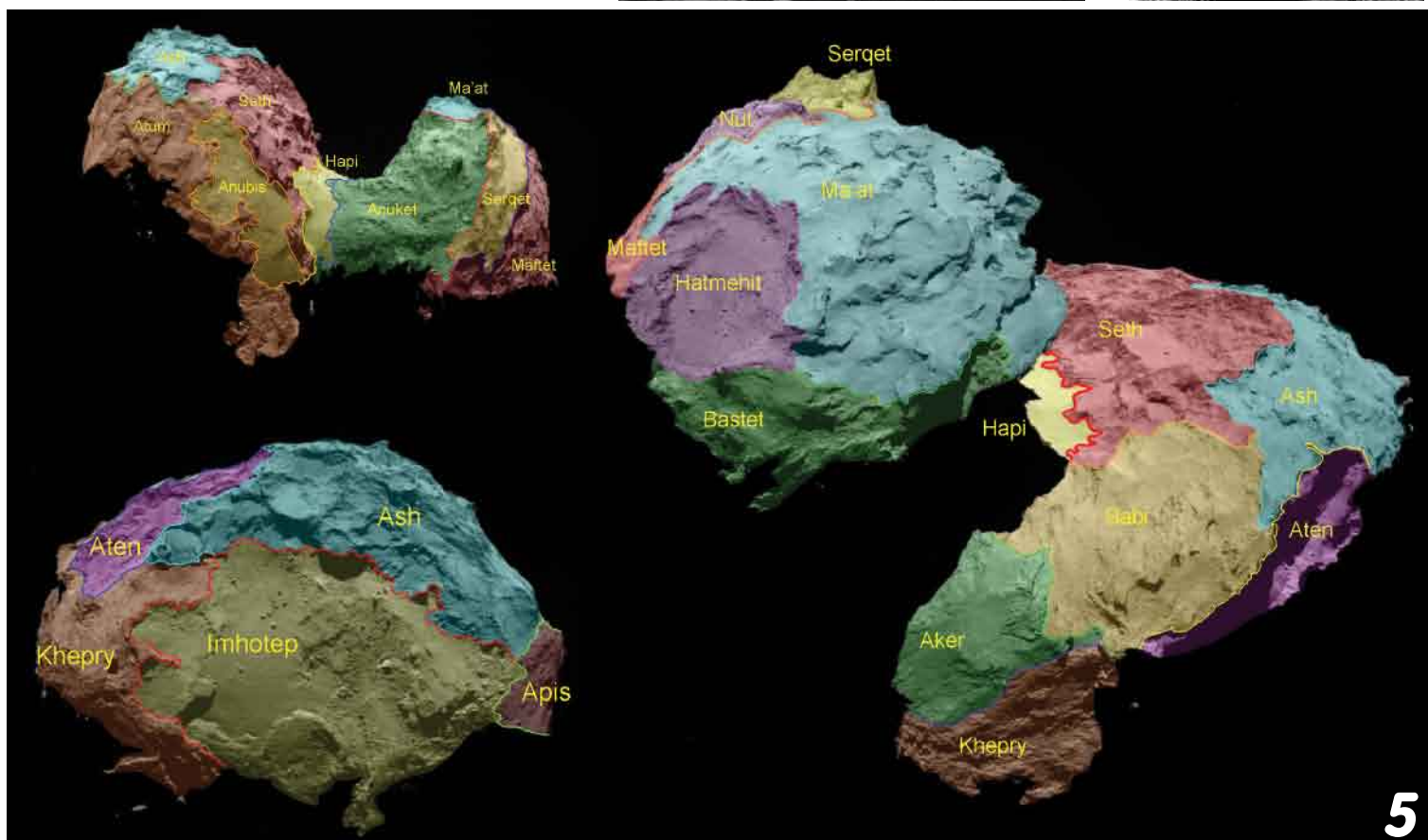
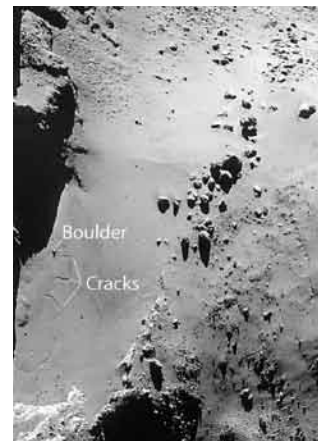
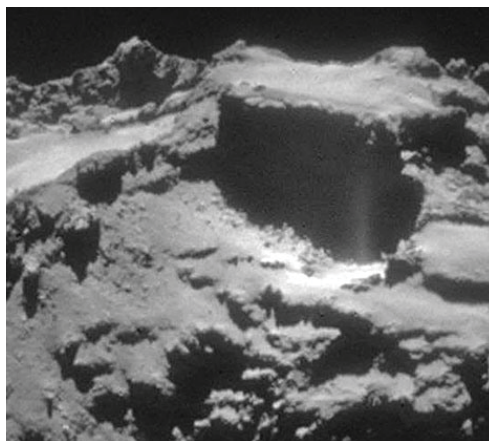
Er zijn enkele bronnen gevonden van actieve jets, vooral in het gladde gebied van de nek, maar ook in de putten. Verder kon men duidelijk de invloed zien van de ontsnappende gassen op het transport van stof over het oppervlak. Daarbij ontstaan duinachtige rimpels en *wind-tails*: weggeblazen materiaal dat in de luwte van keien en rotsblokken weer naar de bodem valt (hetzelfde dat je kunt zien achter schelpjes op het strand).

De stoflaag, die op sommige plekken mogelijk meters dik is, speelt een belangrijke rol bij de isolatie van het inwendige van de komeet: daar blijft het onveranderd ijskoud. Overigens vond men op de komeet ook kleine gebiedjes met ijs aan het oppervlak. Die gebiedjes zijn natuurlijk erg

Onderaan: een 'landkaart' van de komeet 67P, met 19 afgebakende en benoemde gebieden. Voor de Rosetta geleerden puur een manier om aan te geven waar iets gebeurt (vergelijkbaar met de sterrenbeelden aan de hemel). Ik ben benieuwd wanneer de grote landen hun deel opeisen...

Midden, boven: hier zie je een jet van gas en stof uit de bodem spuiten (rechts).

Rechtsboven: als het ijs van kliffen verdampt kan zo'n klif instorten. Waar ijs verdwijnt ontstaan jets, maar ook grote scheuren in de bodem (de 'cracks'). Waar een ijswand instort zie je ijsrotsblokken ('boulders'). Het zonlicht komt hier van boven en achter.



Organische verbindingen

Kometen bevatten complexe organische verbindingen. Die bestaan uit moleculen met als basis koolstofatomen. Deze moleculen bevatten bijna altijd ook waterstofatomen en vaak stikstof-, zuurstof- of zwavelatomen. Het eenvoudigste organische molecuul is methaan (CH₄), het hoofdbestanddeel van aardgas. Ook nucleïne-zuren (de bouwstenen van DNA en RNA) en aminozuren (de bouwstenen van eiwitten), die essentieel zijn voor leven zoals wij dat kennen, zijn organische verbindingen. Men vermoedt dat kometen niet alleen water op Aarde hebben gebracht, maar ook organische verbindingen. Rosetta moet antwoord geven op de vraag of kometen inderdaad op die manier hebben bijgedragen aan het ontstaan van leven op Aarde.

Foto 1: je ziet hier duinachtige rimpels (links) en 'wind-tails' achter de rotsblokken (rechts) in het gebied Hapi. Ze vormen de bewijzen voor 'local gas-driven transport' (een soort wind dus). Wind tails ontstaan aan de lizzijde (in de lufte) van een obstakel, waar stofdeeltjes kunnen neerdalen. Je ziet dit ook op Mars en bijvoorbeeld achter schelpjes op het strand.

Foto 2: een groep rotsblokken in een gebied aan de 'onderkant' van het 'lijf'. De grootste, die de naam Cheops kreeg, zie je in de linker bovenhoek. Hij is ongeveer 45 m groot en 25 m hoog! Een ander groot rotsblok, onderin de foto, wordt omringd door kleinere blokken die deels in de gladde stoflaag lijken te zitten. Dat gladde gebied loopt tot rechtsboven, waar blijkbaar onderliggend ruw terrein is bloot komen te liggen.

Foto 3: close-up van Cheops, het rotsblok dat we hierboven beschreven. De schaduw is lang, door de lage zonnestand.

Foto 4: de steile wand in het midden van de foto laat een 'kippenvel' patroon zien, van ongeveer 3 m grote bulten.

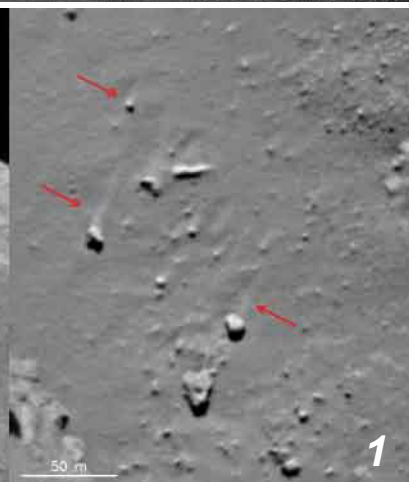
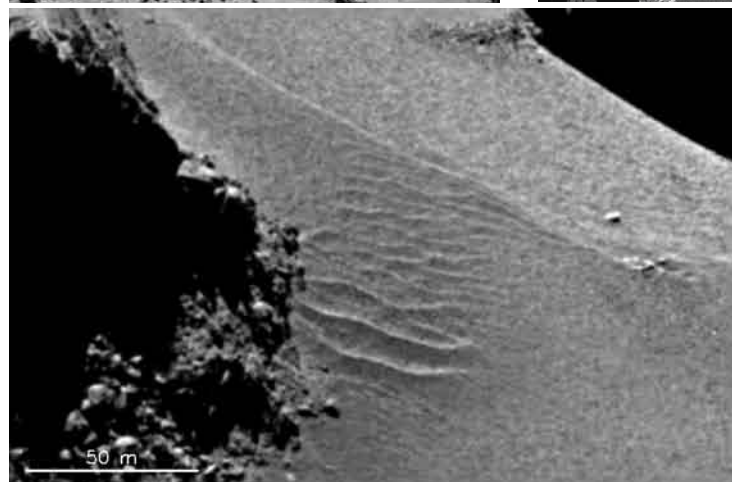
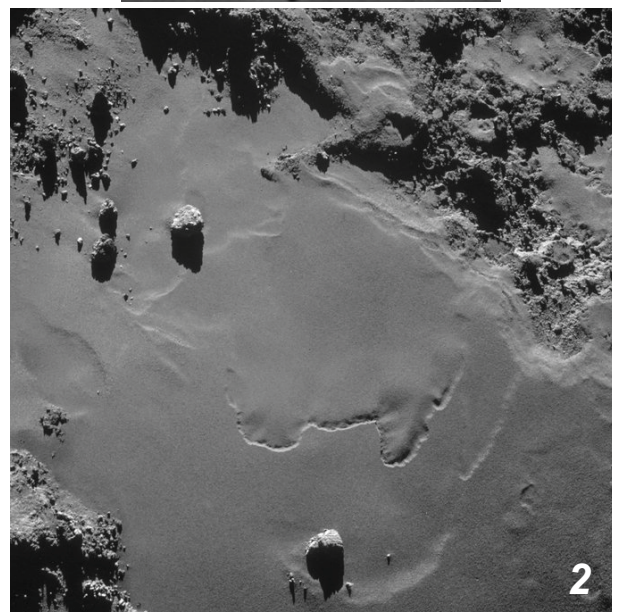
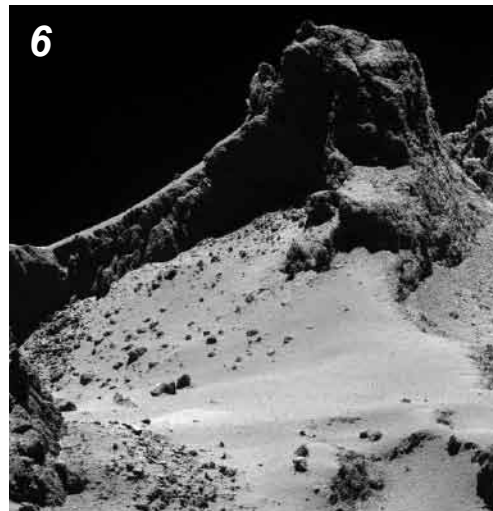
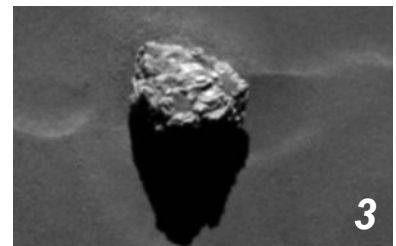
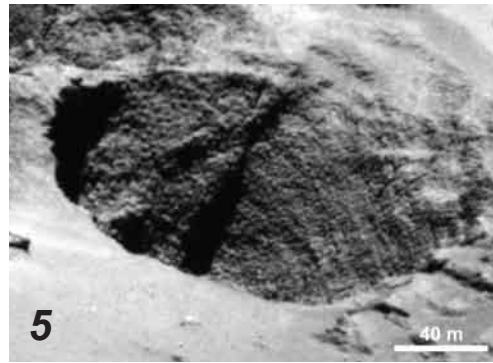
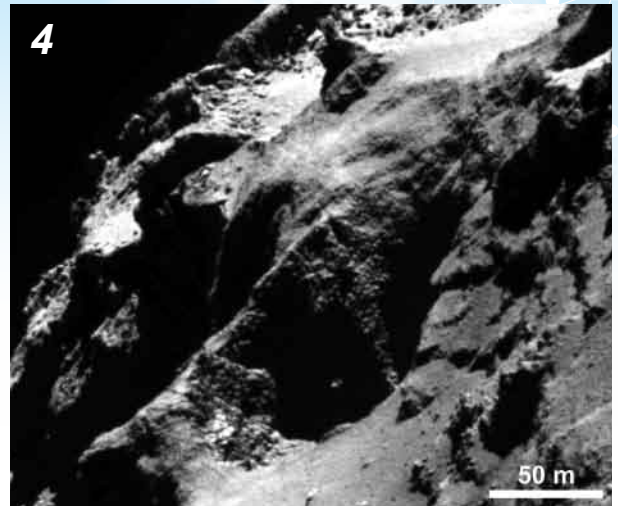
Foto 5: dit lijkt op een flinke put, waarvan de binnenwand ook dat 'kippenvel' patroon toont.

Foto 6: een deel van het 'hoofd' van de badeend. Je ziet steile wanden en een fraai landschap dat lijkt alsof er een lawine naar beneden is gekomen.

helder. Het zijn gewoonlijk gebiedjes waar de onderlaag bloot is komen te liggen, omdat de korst is ingestort.

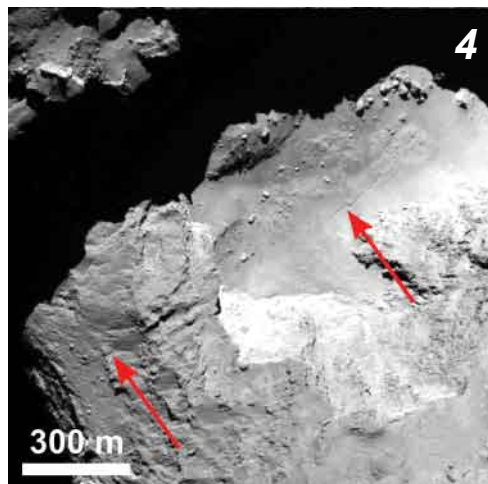
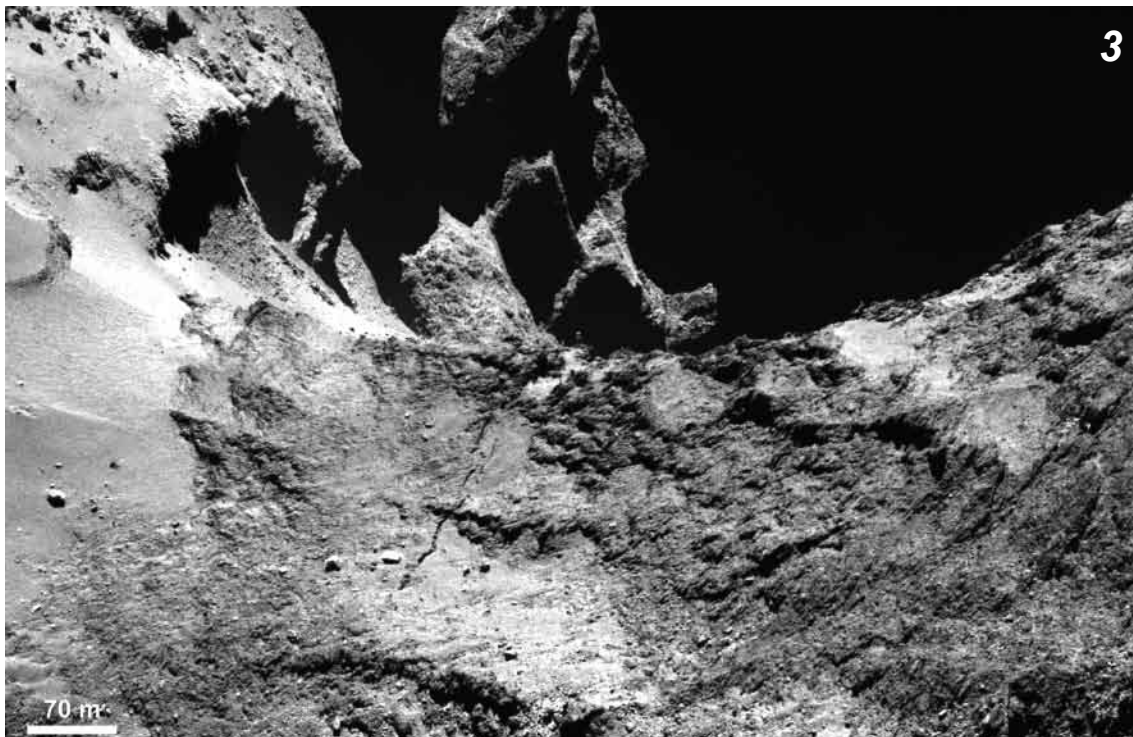
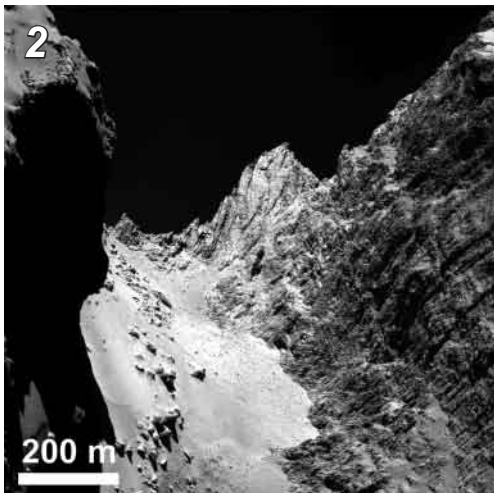
Kippenvel

Sommige aan de zonnewarmte blootgestelde steile hellingen en klifwanden zijn bedekt met een patroon van ca. 3 meter grote 'bulten' dat zich over 100 meter of meer uitstrekt. Als een soort 'kippenvel'! De oorsprong van die bulten is onbekend, maar hun karakteristieke afmetingen kan aanwijzingen geven over de processen die aan de gang waren toen de komeet werd gevormd. We zien ook breuken in die gebieden, en die hebben te maken met het afwisselend afkoelen en opwarmen van de bodem (zie de volgende pagina).



Breuken

Op een grotere schaal zie je rond klippen (steile rotswanden) veel willekeurig lopende breuklijnen. Ze zijn ontstaan door de snelle temperatuurveranderingen (verhitten en weer afkoelen) tijdens de 'dag' (rotatieperiode 12,4 uur) en het 'jaar' (baan om de zon: 6,45 jaar) van de komeet. De grootste breuklijn is 500 m lang en loopt parallel met de nek. Het is niet bekend of deze breuk het gevolg is van spanningen in dit gebied. Bedenk dat de komeet een vreemde vorm heeft, met die zwakke nek, en dat de komeet zelf erg poreus is.



De donkere korst

Een komeetkern komt vanuit de verste verten in het zonnestelsel, als een diep bevroren klomp ijs en stof. Hij begint zijn bestaan dus als een erg helder object! Toch zijn de kometen in onze omgeving juist erg donker (zie **albedo**, op pagina 4). Hoe komt dat?

De waterijskristallen in ijs zijn erg rommelig geordend: ze vormden zich in het vroege zonnestelsel, toen waterdamp op ijskoude kernen bevroor. Het ijs was vermengd met eenvoudige **organische verbindingen**, zoals methaan. Die moleculen stonden miljarden jaren bloot aan UV licht van de zon en werden daarvoor omgezet in meer complexe organische moleculen, zogenaamde **polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs)**. Dat zijn moleculen die alleen uit waterstof- en koolstofatomen bestaan en waarbij de koolstofatomen ringvormige structuren vormen (meestal een zeskantvorm), zoals benzeen. Het polycyclische zit hem in het feit dat die atomen ketens vormen ('poly' = 'meer'; 'cyclisch' = 'herhaling').

Als een komeet in de buurt van de zon komt verdampst het ijs in de buitenste laag. Dat ijs is vermengd met die PAKs. Men heeft in het laboratorium ontdekt dat ijs dat naar minder lage temperaturen wordt gebracht de PAKs, die samenklitten, als het ware uitstoot. Zo ontstaat een harde korst van zeer donkere organische verbindingen bovenop het ijs.

Crack in the comet!

Foto 1: in de 'nek' van de komeet loopt een 500 m lange breuklijn ('scheur') door verschillende gebieden. Bedenk dat de komeet maar 4 km lang is! We zien hem hier in het Anuket-gebied.

Foto 2: een met rotsblokken bezaaid deel van het Hapi-gebied. Rechts de Hathor klif.

Foto 3: op deze opname zie je waar de breuklijn het Hapi-gebied verlaat en het Anuket-gebied binnentrekt. Seth is linksboven, Hapi linksonder.

Foto 4: een deel van de grote breuklijn in het Hapi-gebied.

Foto 5: deze opname toont waar de breuk zich bevindt, in de nek van de komeet. Het heldere deel op foto 4 zie je hier terug, bij de pijl.

Foto 1: de komeet heeft een enorme klip (of klif), van ruim 1 km hoog. In deze opname is het grootste deel (het 'lijf') aan de linkerkant te zien, de 'kop' rechts. Dit is een zgn. mozaïek van vier opnamen van Rosetta, gemaakt op 10 december 2014. Het meest indrukwekkende is toch wel die 'nek', met de collectie rotsblokken, en de klif rechts.

Foto 2: de jets (zie pagina 5) zijn niet gemakkelijk te zien, daarvoor moet je de helderheid opschroeven, zoals op de rechter versie van deze foto. In die put (in Seth) zie je ze als een paar vage strepen.

Foto 3: een mozaïek van het nekgedeelte, rechts met een verhoogde helderheid. Je ziet minstens twee sterke jets, maar misschien zijn er meer, zwakkere.

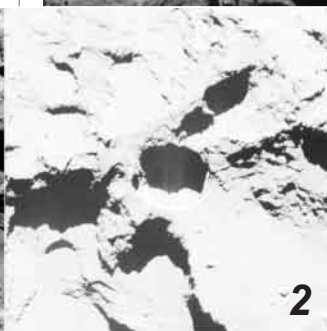
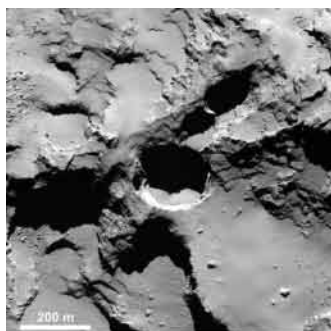
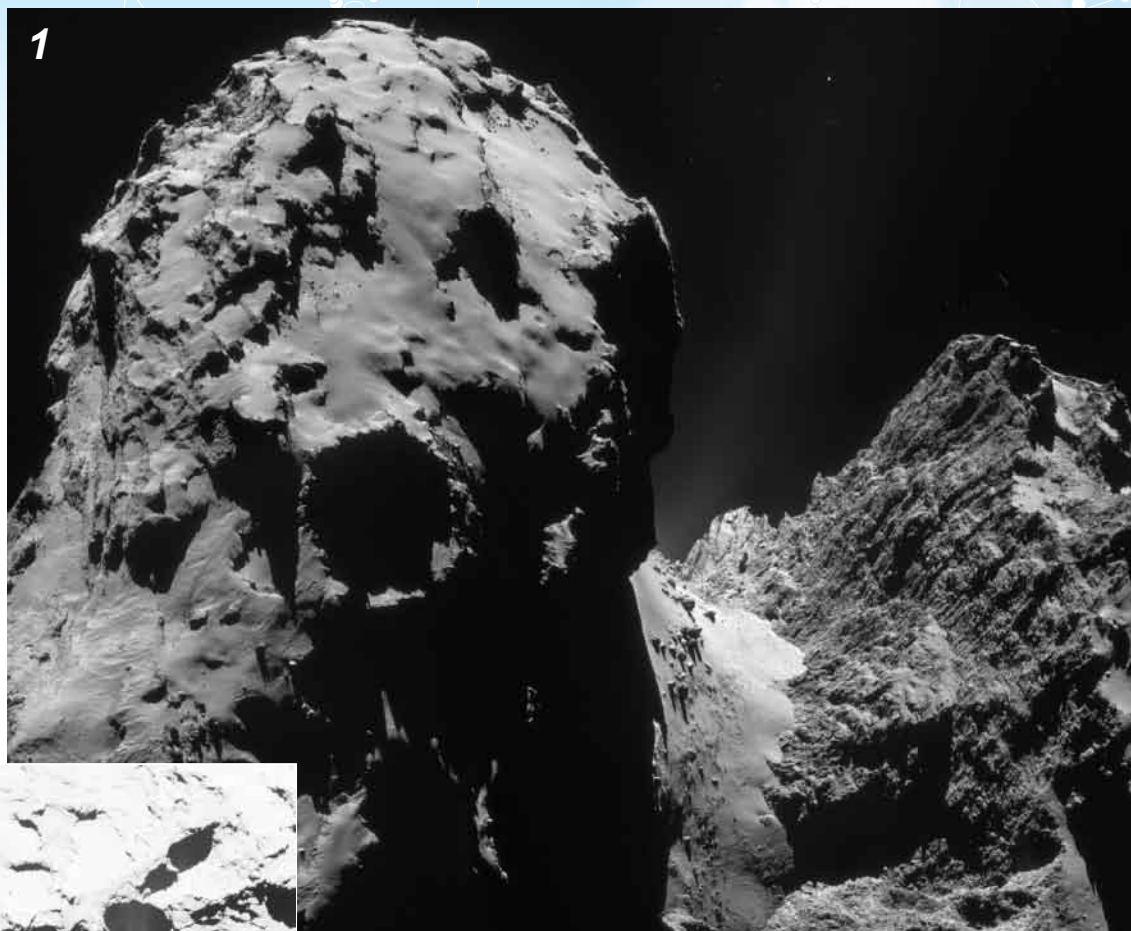
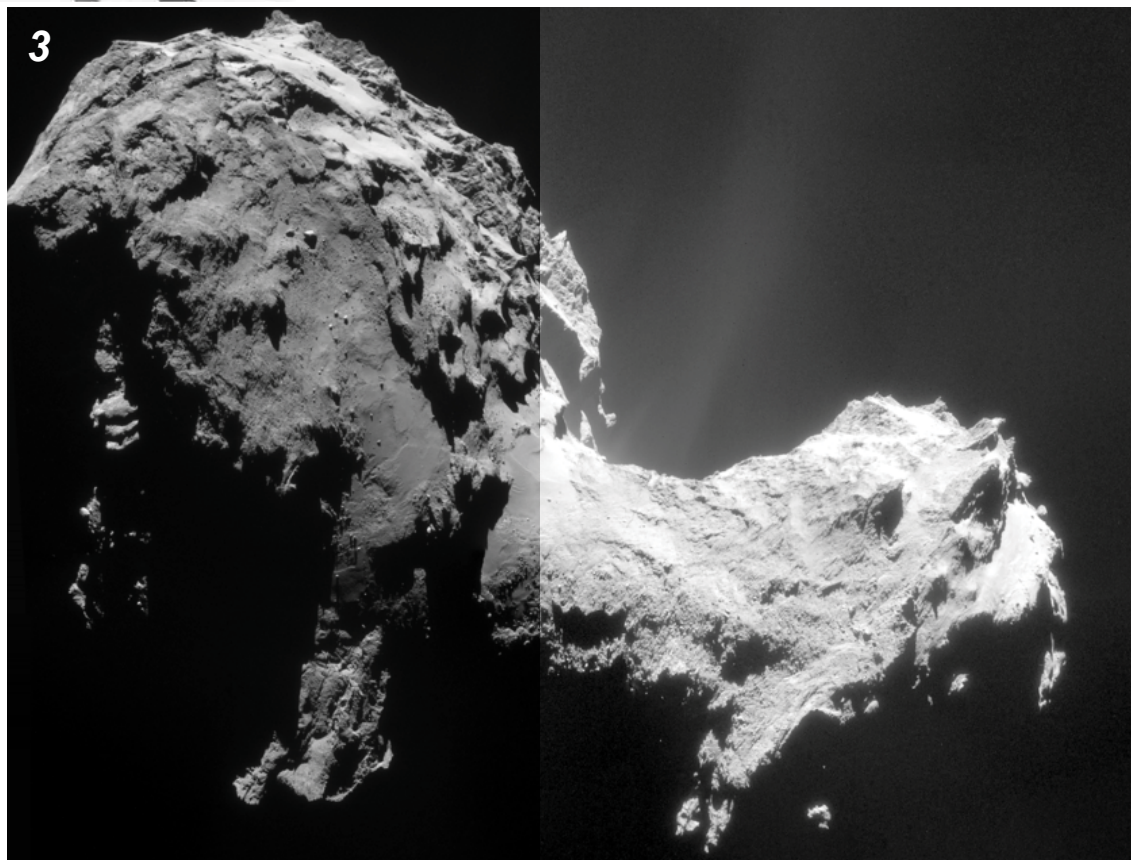
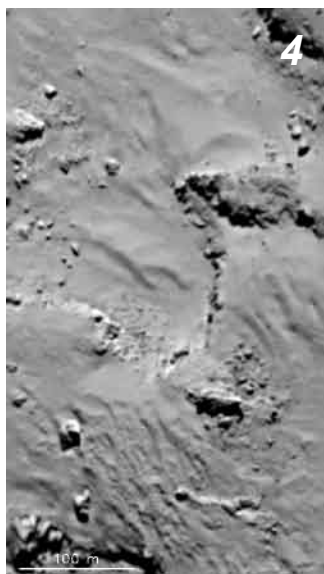
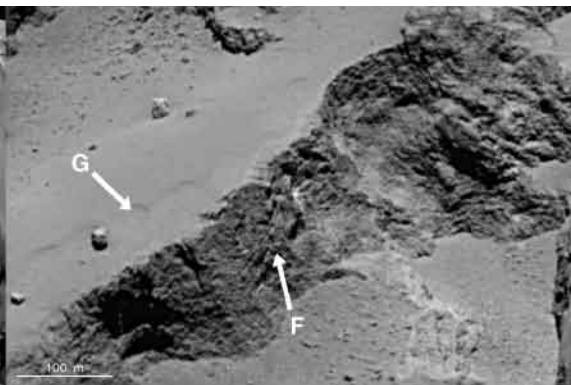
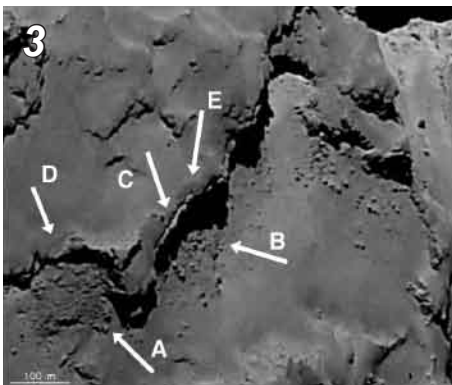
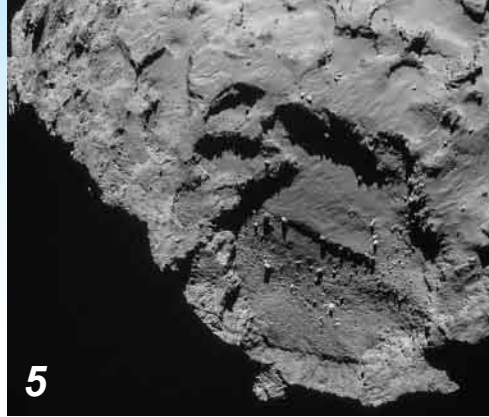


Foto 4: nog een foto waarop duinachtige structuren zichtbaar zijn.





Nog meer foto's

Als je op zoek bent naar foto's kom je steeds meer fraaie beelden tegen. De komeet is ongelooflijk boeiend. Dus om het af te leren, nog enkele foto's.

Foto 1: tektonische structuren (breuken) in het Aker-gebied.

Foto 2: datzelfde zien we hier als reeksen lange, parallelle groeven en heuvelruggen. Grotere heuvelruggen leiden naar een piek, langs een lawine van rotsblokken. Rechts zie je onderaan een steile wand een stuk met verbrokeld helder materiaal, mogevers, blootgekomen ijs.

Foto 3: op de grens van Ash en Seth zien we aanwijzingen dat de bodem is ingestort. Onderaan zie je puin liggen (A en B). Door het instorten zijn breuken ontstaan (C) en zijn delen van het oppervlak naar de rand gezakt (D en E): een mogelijke voorbode van een nieuwe breuk of instorting. Ook op de rechter foto zie je inzakkings van het terrein (G), boven de breukwand (F).

Let op het contrast tussen de met stof bedekte vlakke bodem en de verse (stofvrije) steile wand.

Foto 4: De 'kop' (links) met een grote, bijna cirkelvormige laagte in de buurt van Agilkia, de landingsplek van Philae. Rechts het 'lijf'. Je ziet zowel het gladdere oppervlak langs de 'nek', bezaaid met rotsblokken, als terrein vol 'putten', afgewisseld met vlakkere stukken, rotsblokken en klippen.

Foto 5: inslagkraters lijken schaars op de komeet. Veel ronde 'deuken' zijn ontstaan toen koolmonoxide en kooldioxide explosief verdampen, zoals Hatmehit hier (een gebied op de 'kop').

Foto 6: deze cirkelvormige laagte lijkt bij C te zijn opgetild, waarbij verticale breuken ontstonden. Instorting aan de andere kant (D) veroorzaakte een lawine van puin.

Foto 7: dit zou wel een inslagkrater kunnen zijn, ontstaan toen puin dat de ruimte in was geblazen door jets weer terugviel op het oppervlak. De krater is 35 m in diameter en deels bedekt door stof.

