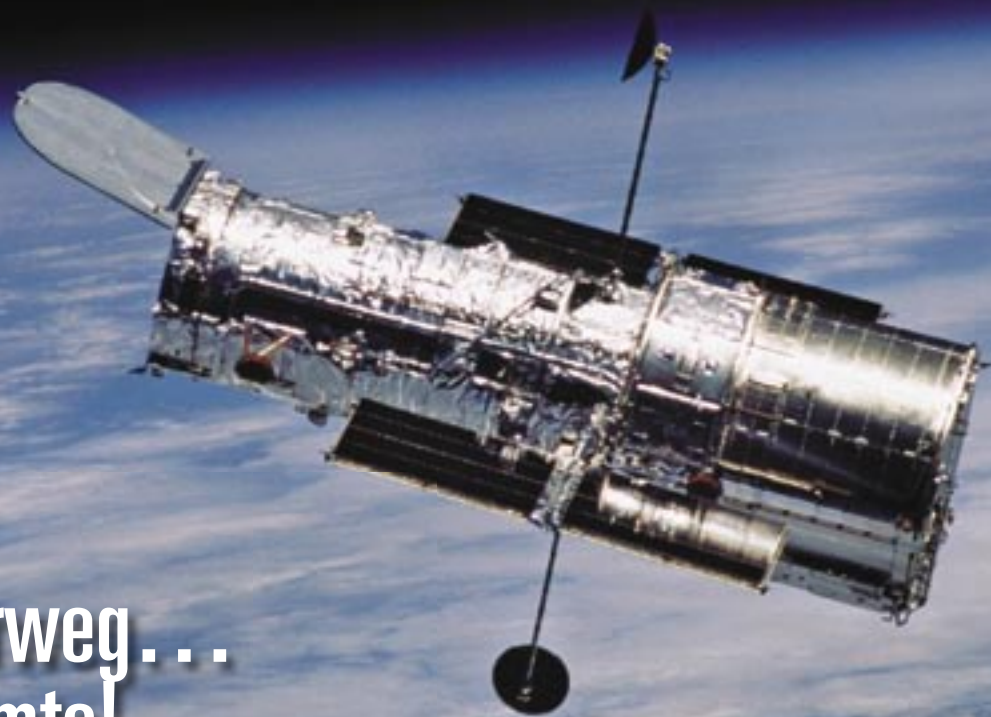
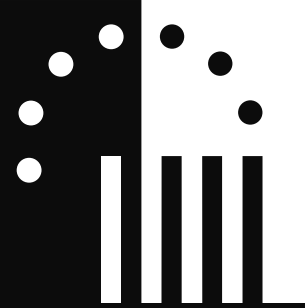


# 60 *Space* connection



## Dossiers

Hulp is onderweg...  
vanuit de ruimte!

De zwanenzang van Hubble

Studentikoze satellieten



# Hulp is onderweg . . . vanuit de ruimte!

De Europese aardobservatiesatelliet Envisat maakte deze opname op 7 december vorig jaar. Duidelijk is de rook te zien, afkomstig van bosbranden in de deelstaat Victoria in het zuidoosten van Australië. Het eiland onderaan is Tasmanië. ESA-satellieten nemen al tien jaar lang bosbranden waar over de hele aarde. © ESA

De aarde is een heel onrustige planeet. Aardbevingen, overstromingen, vulkaanuitbarstingen, bosbranden en andere natuurrampen vormen een constante bedreiging voor mensen en hun bezittingen. De bevolking van de aarde neemt alsmat toe en steeds meer mensen wonen in gebieden die gevoelig zijn voor aardbevingen, langs kuststreken en in vlakten die regelmatig overstromen of in de schaduw van dreigende vulkanen.

Ze lopen een behoorlijk groot risico vroeg of laat te maken te krijgen met een natuurramp. Alleen al de laatste 25 jaar vielen naar schatting 350 000 slachtoffers bij aardbevingen. En er zijn nog heel wat andere bedreigingen zoals epidemieën en catastrofes die de mens zelf veroorzaakt, zoals oorlogen en milieurampen.

Omdat ze een globale blik op onze planeet werpen zijn satellieten in een baan om de aarde bij uitstek geschikt om catastrofes die onze planeet bedreigen in de gaten te houden en ze in sommige gevallen ook te helpen voorkomen. Ze kunnen helpen de grillen van de natuur beter te begrijpen en, als het noodlot dan toch toeslaat, de ellende te verlichten. In het bijzonder spelen de Europese ruimtevaartorganisatie ESA en de Europese Unie op dit vlak een vooraanstaande rol.

## Kosmische bijstand na een verwoestende ramp

26 december 2004. Een dodelijke tsunami teistert de Indische Oceaan. Vooral de kustgebieden van Indonesië, Thailand en Sri Lanka worden getroffen, maar de gevolgen van de ramp laten zich ook op de Malediven en zelfs tot in Afrika voelen.

De catastrofe eist 230 000 mensenlevens, waarvan meer dan 165 000 alleen al in de Indonesische provincie Atjeh in het uiterste noorden van het eiland Sumatra.

Onmiddellijk na de ramp trad het *International Charter on Space and Major Disasters* in actie. Dit samenwerkingsverband tussen verschillende ruimtevaartorganisaties in de wereld houdt onder meer in dat het maken en verwerven van satellietbeelden van een getroffen gebied absolute voorrang krijgt.

Gezien de enorme omvang van de catastrofe speelden satellieten een heel belangrijke rol bij zowel het inschatten van de schade als bij de coördinatie van hulpacties. Van groot nut waren de op basis van satellietwaarnemingen vervaardigde kaarten, een belangrijk hulpmiddel bij de wederopbouw.

De bijstand vanuit de ruimte gebeurt onder meer via het programma *Global Monitoring for Environment and Security*, kortweg *GMES*. Het gaat om een gezamenlijk en bijzonder ambitieus initiatief van de ESA en de Europese Commissie. *GMES* brengt gegevens samen die zowel op de aarde als vanuit de ruimte met satellieten worden verzameld. Op die manier wil men een geïntegreerd systeem tot stand brengen voor de waarneming van het milieu en de veiligheidsproblematiek. Zo wordt via *GMES* de toestand van het milieu in de gaten gehouden en de evolutie ervan op korte, middellange en langere termijn. Dit moet de besluitvorming en investeringen in verband met het milieu ondersteunen. ESA werkt daarbij samen met een hele groep van operationele gebruikers.

Respond is één van de door ESA ondersteunde GMES-diensten. Respond bestaat sinds 2003 en werkt samen met de industrie en hulporganisaties zodat gemakkelijker kaarten, satellietbeelden en geoinformatie ter beschikking komen.

Respond leverde tijdens de reddingswerkzaamheden na de tsunami en ook bij de heropbouw informatie uit verschillende bronnen. Er werden kaarten gemaakt waarmee de schade kon worden vastgesteld, onder meer ook met medewerking van het Belgisch bedrijf Keyobs. Keyobs is een specialist op het vlak van Geografische Informatiesystemen (GIS) en technieken voor aardobservatie en biedt onder meer hulp aan bij de analyse van complexe situaties, besluitvorming en management. Als een bevoorrechte partner van hulporganisaties ontwikkelde dit bedrijf in Angleur een specifieke dienstverlening voor noodsituaties, in het bijzonder in ontwikkelingslanden.

Keyobs realiseerde kaarten van onder meer Soedan en Tsjaad, de Democratische Republiek Congo en Sumatra. *'In een wereld waarbij omgaan met menselijke crisissen steeds complexer wordt en waarbij men rekening moet houden met logistiek, veiligheid, epidemieën en het milieu, spelen deze kaarten een belangrijke rol voor hulporganisaties'*, zo luidt het bij Keyobs.

Zo heeft Keyobs de *Humanitarian Mapping Service*, kortweg *Human*, voor het online ter beschikking stellen van kaarten ter ondersteuning van reddingswerkers die zowel in het veld als vanuit een centrale post werkzaam zijn. Zo kunnen snel veranderende crisissituaties in Afrika worden opgevolgd.

Met Respond werden alleen al in de dagen onmiddellijk na de tsunamiramp heel snel honderden kaarten vervaardigd met gegevens afkomstig van maar liefst 19 verschillende

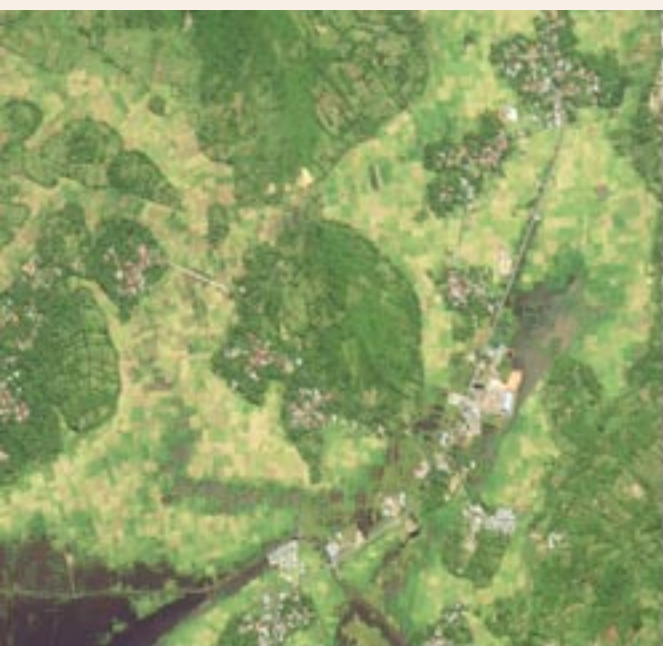


Nog een opname van Envisat van de 3350 meter hoge vulkaan Etna op Sicilië, gemaakt op 25 november 2006. © ESA

satellieten. In januari 2005 alleen al waren er honderdduizenden downloads van dergelijke kaarten. Na de eerste kaarten, bedoeld om de schade op te meten, produceerden de Respond-leden er nadien nog andere om de nood op langere termijn te lenigen en voor de heropbouw. Voor organisaties als het Rode Kruis en Artsen Zonder Grenzen zijn ze onontbeerlijk. *'We hadden opnamen van voor en na de ramp en dus konden we een snelle evaluatie maken van de plaatselijke toestand en van de aangerichte schade. Zo kunnen we op een meer efficiënte manier helpen'*, aldus Alice Moreira van de Franse niet-gouvernementele organisatie *Architectes de l'Urgence* (ADU).

Respond bewees zijn diensten nog bij andere rampen. Enkele voorbeelden:

■ Op 8 oktober 2005 werd Kasjmir getroffen door een aardbeving met een kracht 7,6 op de schaal van Richter. Het epicentrum van de beving bevond zich bij Muzaffarabad op 140 kilometer van de Pakistaanse hoofdstad Islamabad. De ramp eiste minstens 50 000 mensenlevens. De gedetailleerde geografische informatie



January 10, 2003



Aceh, Sumatra, Indonesia

December 29, 2004

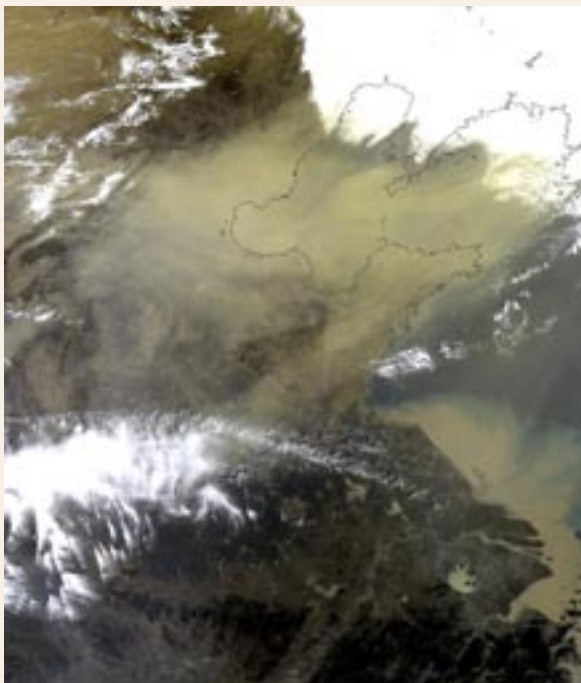
Deze opnamen van de satelliet Ikonos van Space Imaging tonen een gedeelte van de provincie Atjeh op het Indonesische eiland Sumatra. De opname links werd gemaakt op 10 januari 2003. Het beeld rechts laat hetzelfde gebied zien op 29 december 2004, enkele dagen na de verwoestende tsunami die Atjeh trof. Laaggelegen landbouwgebieden zijn volledig overstromd. © Space Imaging/CRISP-Singapore

van het Respond-consortium was vitaal bij de 'race' om voor drie miljoen daklozen voedsel en bescherming te zoeken voor het begin van de winter.

- Personeel van de Wereldgezondheidsorganisatie WHO maakte gebruik van gedetailleerde op satellieten gebaseerde kaarten van stedelijke gebieden om een uitbraak van het dodelijke Marburgvirus te bestrijden. Dit virus veroorzaakt zoals het Ebolavirus inwendige bloedingen. Het brak in april 2005 uit in Luanda (Angola) en eiste honderden slachtoffers, waaronder ook veel kinderen van minder dan vijf jaar oud. Er werden geactualiseerde kaarten gemaakt van Angolese steden, gebaseerd op opnamen van de aardobservatiesatellieten SPOT 5 en Ikonos.

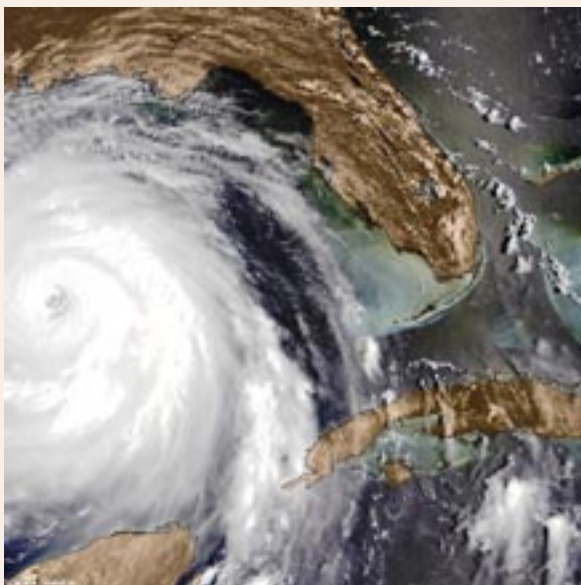
*In april 2006 kreeg de Chinese hoofdstad Beijing te maken met de ergste stofstorm in vijf jaar. Het stof was afkomstig van de Mongoolse woestijn. Veel mensen kregen te maken met ademhalingsproblemen en de bevolking kreeg de raad kinderen binnen te houden. Het probleem is de laatste jaren erger geworden als gevolg van toenemende woestijnvorming. De stofdeeltjes kunnen zelfs de Verenigde Staten bereiken. Vanuit de ruimte kunnen satellieten zoals Envisat, die deze opname maakte, goed het verloop van een dergelijk natuurverschijnsel volgen.*

© ESA



*Satellieten zijn onontbeerlijk om de schade als gevolg van een natuurramp in te schatten. Deze indrukwekkende opname van orkaan Katrina werd op 28 augustus 2005 gemaakt door de Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS) aan boord van Envisat. We zien de orkaan ten westen van Florida boven de Golf van Mexico.*

© ESA



Deze kaarten leverden onder meer informatie over de verspreiding van het virus.

- In de door oorlog en geweld getroffen regio Darfur in Soedan speelt zich één van de grootste menselijke tragedies van onze tijd af. Naar schatting hebben zowat anderhalf miljoen mensen hun huis moeten verlaten in een gebied dat zo groot is als Frankrijk. Hier maakte het Respond-team gebruik van tien verschillende sensoren op negen satellieten, waaronder ESA's aardobservatiesatelliet Envisat. De opnamen werden zo goed als in real time afgeleverd. Een groot probleem is het regenseizoen waardoor anders dorre rivierbeddingen in de woestijn plots overstromen en het wel tien dagen kan duren om over de weg een afstand van amper 120 kilometer af te leggen. Hier speelde actuele informatie over het wegennetwerk en een analyse over de overstromingen een heel belangrijk rol. De ASAR-radar aan boord van Envisat is bijzonder geschikt om wegen waar te nemen en het in kaart brengen van het reliëf en een belangrijk hulpmiddel om de aanwezigheid van water vast te stellen. Op basis van de satellietgegevens kon men bepalen welke wegen bruikbaar zouden blijven. Satellietgegevens hielpen ook om voor ongeveer 200 000 Soedanese vluchtelingen in buurland Tsjaad waterbronnen te identificeren en nieuwe kampen op te richten.

## Het 'Systeem Aarde' beter leren begrijpen

Satellieten zijn niet alleen een belangrijk hulpmiddel bij de bestrijding van de gevolgen van een ramp, ze kunnen ook helpen de oorzaken te bestuderen en beter te begrijpen. Zo heeft de Europese Unie gedurende meer dan 15 jaar tientallen onderzoeksprogramma's in verband met aardbevingen ondersteund. Onderzoekers van het *Joint Research Centre* (JRC) van de Europese Commissie hebben bijvoorbeeld met behulp van satellieten de aardbeving onderzocht die in 2001 de Indiase provincie Gujarat trof in de buurt van de Pakistaanse grens en waarbij 20 000 mensen het leven verloren.

Ze kunnen op die manier de bestaande modellen van aardbevingen verbeteren en een verband trachten te leggen tussen de grootte van een beving en de gevolgen ervan. Het gaat om baanbrekend onderzoek dat beetje bij beetje kan leiden tot de effectieve voorspelling van aardbevingen.

De Europese Unie maakt ook gebruik van ruimtevaarttechnologie om bosbranden in kaart te brengen en beter te begrijpen hoe ze om zich heen grijpen. Belangrijk, want in Europa zijn er elk jaar zo'n 45 000 bosbranden die om de vijf jaar een gebied zo groot als België in de as leggen. Ook de mens vernietigt het bosbestand. Elk jaar worden 13 miljoen hectaren regenwoud gekapt, een gebied zo groot als Griekenland. Daarbij komen miljoenen tonnen aan koolstofemissie in de atmosfeer terecht. Ontbossing is daarmee een belangrijke bron van broeikasgassen.

In het kader van GMES worden de *Sentinel*-satellieten ontwikkeld. Ze moeten vanaf 2010 de ruimte ingaan. Sentinel 2 zal bijvoorbeeld een sensor aan boord hebben om het landoppervlak in de gaten te houden en in het bijzonder de ontbossing in ontwikkelingslanden. De satelliet zal de hele aarde om de vijf dagen met details van tien meter kunnen waarnemen.

Europa ondersteunt onderzoek naar de globale problemen die de aarde bedreigen, zoals het broeikaseffect. Met de nieuwste technologie kunnen onderzoekers gegevens uit databestanden, van radars en van satellieten combineren om tot betere modellen ter voorspelling van bijvoorbeeld overstromingen te komen. Zo is er het EU-project *Demeter* voor voorspellingen op lange termijn van het weer en overstromingen.

In februari werd in Parijs het meest gezaghebbende rapport ooit over de klimaatverandering bekendgemaakt. Het waarschuwt tegen het stijgende zeeniveau en de oplopende temperatuur op de aarde. 2500 specialisten uit 130 landen hebben er gedurende zes jaar aan gewerkt. Satellieten zullen een bijzonder belangrijke rol spelen bij het bepalen van de maatregelen die nodig zullen zijn om de opwarming van de aarde tegen te gaan. Kunstmannen hebben al belangrijke informatie verschaft over onder meer de evolutie van het ijs op onze planeet.

Zo wijzen gegevens van de ESA-aardobservatiesatellieten ERS 1, ERS 2 en Envisat en de Canadese satelliet Radarsat 1 erop dat de gletsjers op Groenland twee keer zo snel afsmelten als men had gedacht. Satellieten helpen onderzoekers ook bijvoorbeeld de koolstofcyclus beter te begrijpen. Hun waarnemingen van het zonlicht dat de aarde weerkaatst, bosbranden, bosbouw en landgebruik zijn een belangrijke input voor de modellen die de koolstofcyclus beschrijven. *'Het programma Living Planet van ESA zal via de ontwikkeling van satellieten van de reeks Earth Explorer en de Sentinel-missies verder onze kennis van het Systeem Aarde vergroten, de veranderingen van onze leefomgeving helpen voorspellen en de negatieve gevolgen van de globale veranderingen op onze planeet helpen tegengaan'*, zo zegt men bij ESA.

En tenslotte... niet alleen de mens zelf, maar ook zijn cultureel erfgoed wordt bedreigd. Maar ook hier schieten satellieten te hulp. In 2003 ondertekenden ESA en de UNESCO een overeenkomst om honderden culturele en natuurlijke sites van het Werelderfgoed vanuit de ruimte met kunstmannen in de gaten te houden. Dat kan steeds beter, want ook niet-militaire satellieten kunnen nu details van minder dan één meter groot waarnemen.

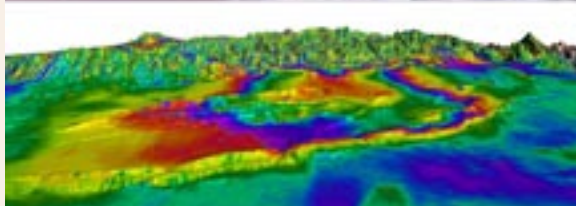
**Benny Audenaert**



*ESA's eerste polaire satelliet voor operationele meteorologie Metop ging op 19 oktober 2006 de ruimte in. Hij moet de weersvoorspelling helpen verbeteren en het klimaat in de gaten houden. In totaal zullen over een periode van 14 jaar drie Metop-kunstmannen worden gelanceerd. Satellieten zijn onontbeerlijk om de aarde als een systeem beter te leren begrijpen.  
© EADS Astrium/  
C. Mériaux*



*Satellieten helpen ook bij de bescherming van ons cultureel erfgoed. Dit is de lagune rond Venetië en de stad zelf, gefotografeerd door de Belgische microsatteliet Proba van ESA. De opname werd gemaakt op 11 november 2004.*



*Op 14 maart 1998 werd een dunbevolkt gebied in het zuidoosten van Iran getroffen door een aardbeving. De bovenste opname toont een driedimensionaal beeld van het gebied, gemaakt door een Amerikaanse Landsat-kunstmaan. Het onderste beeld is gebaseerd op zogenaamde radarinterferometrie op basis van gegevens van een Europese ERS-satelliet voor aardobservatie en laat vervormingen in het aardoppervlak zien. De aardbeving van 1998 trof een vallei aan de andere kant van de bergen die op de achtergrond te zien zijn. © NASA/JPL/ESA*

# Kosmische bijstand op het internet

Zo had de satelliet Cryosat het ijs op onze planeet moeten waarnemen maar hij ging bij de lancering in oktober 2005 verloren. Deze kunstmaan uit de reeks Earth Explorer wordt zo belangrijk geacht dat een tweede exemplaar in 2009 wordt gelanceerd. © ESA

Zonder volledig te (kunnen) zijn, volgen hierna enkele interessante webpagina's over hoe ruimteonderzoek een rol kan spelen bij de bestrijding van rampen en de globale problemen waarmee het milieu op onze planeet te kampen heeft.

## Disaster Monitoring Constellation (DMC)

[www.dmcii.com](http://www.dmcii.com)

DMC is een constellatie van vijf in het Verenigd Koninkrijk (door Surrey Satellite Technology Ltd) gebouwde kleine en goedkope satellietjes die rampen op de aarde waarnemen en helpen bij de coördinatie van reddingsacties. Ze zijn eigendom van Algerije, China, Nigeria, Turkije en het Verenigd Koninkrijk. Ze kunnen op een willekeurige dag opnamen maken van om het even welk deel van het aardoppervlak en toonden hun waarde onder meer bij de tsunami van 2004 en de zware overstromingen in Soedan in 2005.

## Earth Explorer

[www.esa.int/esaLP/ASEWGW95C\\_LPearthexp\\_0.html](http://www.esa.int/esaLP/ASEWGW95C_LPearthexp_0.html)

De ESA-satellieten van de reeks Earth Explorer moeten een belangrijke bijdrage leveren aan een betere kennis over het 'Systeem Aarde'. Ze vormen het wetenschappelijke luik van het programma *Living Planet* en richten zich op onderzoek van de atmosfeer, de biosfeer, de hydrosfeer, de cryosfeer en het inwendige van de aarde met nadruk op de gevolgen van menselijke activiteit op de natuurlijke processen op onze planeet. Ze gaan vanaf 2007 de ruimte in.

## Envisat

[www.esa.int/esaEO/SEMWYN2VQUD\\_index\\_0\\_m.html](http://www.esa.int/esaEO/SEMWYN2VQUD_index_0_m.html)

Veel foto's in dit dossier zijn gemaakt door ESA's ambitieuze aardobservatiesatelliet Envisat, die op 1 maart 2002 gelanceerd werd. Aan boord bevinden zich een tiental uiterst gesofisticeerde optische en radarinstrumenten die het land, de atmosfeer, de oceanen en de poolkappen van onze planeet continu in de gaten houden. De Envisatgegevens leveren een ware oogst aan informatie op die ons onder meer de veranderingen van het klimaat beter doen begrijpen.

## Epidemio

[www.epidemio.info](http://www.epidemio.info)

Epidemio is een door ESA gefinancierd project waarbij satellieten als gegevensbron dienst doen bij epidemieën. Het project wil de mogelijkheden van aardobservatie illustreren en gebruiken voor onderzoek, opvolging en voorspelling van epidemieën. Het ging van start in januari 2004 en eindigde in april vorig jaar. Door bijvoorbeeld satellietgegevens van Envisat te combineren met resultaten 'op het veld', kon men een uitbraak van het Ebolavirus in Congo en Gabon in verband brengen met een periode van grote droogte en die kennis was dan weer nuttig bij het helpen voorkomen van Ebola.

## Global Monitoring for Environment and Security (GMES)

[www.esa.int/esaLP/LPgmes.html](http://www.esa.int/esaLP/LPgmes.html)

[www.gmes.info/](http://www.gmes.info/)

Gezamenlijk initiatief van ESA en de Europese Commissie. GMES wil leveranciers van gegevens en informatie samenbrengen met gebruikers zodat ze beter op elkaar kunnen inspelen. Zo worden gegevens die met het milieu en veiligheid te maken hebben beschikbaar via betere en nieuwe diensten. Een drietal *fast-track* diensten, waaronder één die zich richt op hulp bij catastrofes, zouden al vanaf 2008 operationeel moeten zijn. Na het Europese satellietnavigatiesysteem Galileo wordt GMES als het volgende vlaggenschip van de Europese ruimtevaart gezien en het is de Europese bijdrage aan het internationale *Global Earth Observation System of Systems (GEOSS)*.

### **International Charter on Space and Major Disasters**

[www.disasterscharter.org](http://www.disasterscharter.org)

Met dit charter, ondertekend op 20 oktober 2000, willen de ESA en de Franse en Canadese ruimtevaartagentschappen CNES en CSA een eengemaakt systeem ter beschikking stellen waarbij satellietgegevens worden gebruikt bij natuurlijke of door mensen veroorzaakte rampen. Bij een catastrofe kunnen geautoriseerde gebruikers via één telefoonnummer verschillende satellieten en de bijbehorende grondinfrastructuur mobiliseren. Ondertussen hebben verschillende andere organisaties, onder meer uit Argentinië, India, Japan en de Verenigde Staten zich bij het charter aangesloten.

### **Keyobs**

[www.keyobs.be](http://www.keyobs.be)

Het bedrijf Keyobs in de *Spatiopôle* in Angleur (Luik) is een specialist op het vlak van Geografische Informatiesystemen (GIS) en aardobservatietechnieken. Als een bevoorrechte partner van humanitaire organisaties ontwikkelde het een specifieke dienst om te helpen bij noodsituaties, vooral in ontwikkelingslanden. Het gaat onder meer om cartografie, structurering en beheer van gegevensbestanden, het in kaart brengen van vluchtelingenkampen en het opvolgen van epidemieën.

### **Living Planet**

[www.esa.int/esaLP/index.html](http://www.esa.int/esaLP/index.html)

ESA-programma dat via de ontwikkeling van satellieten van de reeks Earth Explorer en de nieuwe Sentinel-missies ter ondersteuning van GMES onze kennis van de aarde als een systeem moet vergroten.

### **Respond**

[www.respond-int.org/Respond/](http://www.respond-int.org/Respond/)

Verbond van Europese en internationale organisaties met de industrie. Het moet humanitaire hulporganisaties gemakkelijker toegang geven tot kaarten, satellietbeelden en geoinformatie. Opgezet als onderdeel van de GMES-diensten en door ESA ondersteund. Respond maakt hulpoperaties efficiënter door een juiste en betrouwbare toepassing van geografische informatie.

### **Sentinel**

[www.esa.int/esaLP/SEMZHMODU8E\\_LPgmes\\_0.html](http://www.esa.int/esaLP/SEMZHMODU8E_LPgmes_0.html)

Familie van operationele aardobservatiesatellieten van ESA die deel uitmaken van het ruimtesegment van GMES.

### **UNOSAT**

[unosat.web.cern.ch/unosat](http://unosat.web.cern.ch/unosat)

UNOSAT valt onder het *Office for Project Services (UNOPS)*

van de Verenigde Naties. Het is een consortium zonder winstoogmerk, gefinancierd door het *Earth Observation Market Development Programme* van ESA, het Franse ruimtevaartagentschap CNES en het Franse Ministerie van Buitenlandse Zaken. UNOSAT levert via overeenkomsten met aanbieders van informatiediensten geografische informatie aan VN-instellingen en humanitaire en ontwikkelingsorganisaties. UNOSAT is een partner van het Respond-consortium en gebruikt ook satellietgegevens voor ontwikkelingsprojecten in onder meer de Hoorn van Afrika, het grensgebied tussen Mauretanië en Senegal en Nicaragua.

### **Zentrum für satellitengestützte Kriseninformation (ZKI)**

[www.zki.dlr.de/intro\\_de.html](http://www.zki.dlr.de/intro_de.html)

Het *Centrum voor satellietondersteunde Crisisinformatie* is een dienst van het aardobservatiegegevenscentrum van de Duitse ruimtevaartorganisatie *Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)*. De bedoeling is informatie op basis van satellietgegevens snel te verwerven, verwerken en analyseren bij milieurampen, humanitaire hulp en veiligheidsproblemen. De analyses gebeuren op maat van specifieke noden van nationale en internationale politieke en humanitaire organisaties. Het ZKI werkt in Duitse, Europese en internationale context. De activiteiten van het DLR die verband houden met het International Charter on Space and Major Disasters worden door het ZKI gecoördineerd.

*Envisat: ESA's werkpaard voor aardobservatie.*  
© ESA



# De zwanenzang van Hubble



*De orionnevel, een geboorteplaats van sterren, gefotografeerd door de ruimtetelescoop.*  
© NASA

Geen enkele telescoop, misschien zelfs geen enkel wetenschappelijk instrument uit de recente geschiedenis spreekt zo tot de verbeelding als de ruimtetelescoop Hubble. De telescoop, voornamelijk een project van de Amerikaanse ruimtevaartorganisatie NASA, maar met een belangrijke inbreng van de Europese ESA, is vandaag al legendarisch. Niet alleen heeft hij in de zeventien jaar sinds zijn lancering de sterrenkunde in belangrijke mate vooruitgeholpen, hij heeft ook een indrukwekkende reeks prachtige foto's van het heelal gemaakt, foto's die als geen andere de majestueuze schoonheid van de ruimte laten zien.

Maar de zo succesvolle ruimtetelescoop lijkt nu op zijn laatste benen te lopen. Hij wordt geplaagd door defecten, waardoor onder meer de belangrijkste camera aan boord al buiten gebruik is, en de vluchtleaders zijn niet zeker of de telescoop nog lang in bedrijf zal kunnen gehouden worden. Er komt hoogstens nog één expeditie van een ruimtendel naar Hubble, voor onderhouds- en reparatiewerkzaamheden en om instrumenten te vervangen. In het verleden zijn het die regelmatige reparatiemissies geweest die Hubble aan de praat hebben gehouden. De NASA wil de ruimtendels tegen 2010 uit dienst nemen, en de weinige vluchten die nog op het programma staan zijn exclusief bestemd voor de constructie van het internationale ruimtestation ISS, zodat er geen ruimte meer overblijft voor het onderhoud van Hubble. De dagen van de telescoop lijken dus geteld.

In dit dossier blikken we terug op de bewogen geschiedenis van de ruimtetelescoop, laten we enkele van zijn interessantste ontdekkingen en zijn fraaiste beelden de revue passeren en onderzoeken we zijn huidige moeilijkheden en zijn toekomstverwachting.

## Geschiedenis van een ruimtetelescoop

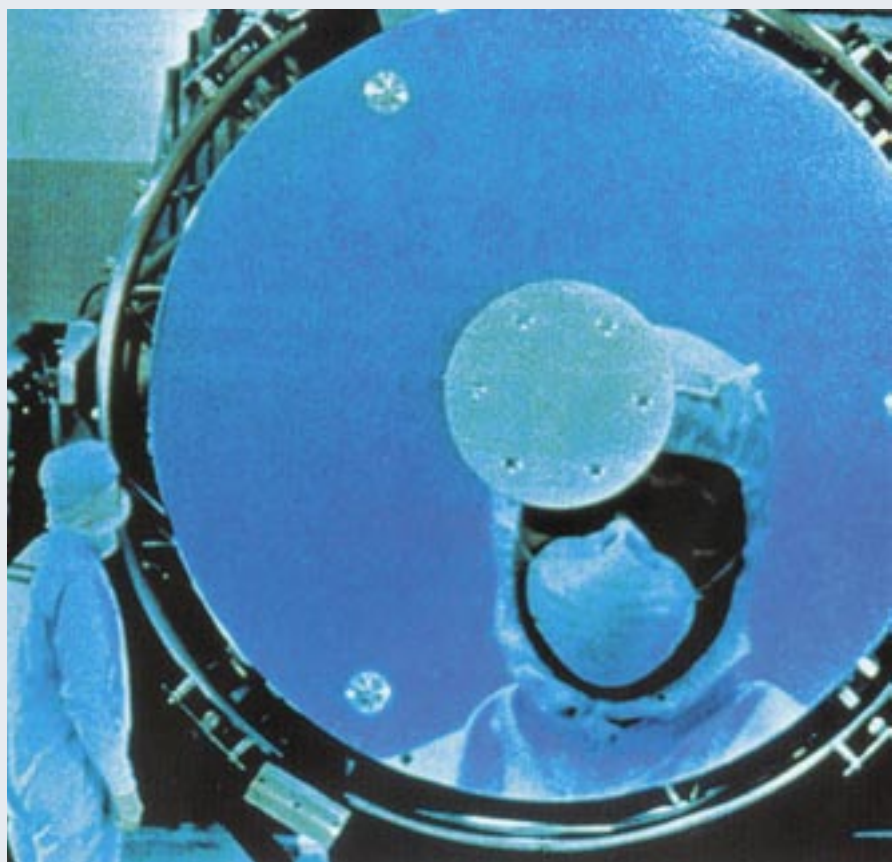
De geschiedenis van de ruimtetelescoop Hubble begint al lang vóór zijn lancering in 1990. Al voor het begin van het ruimtevaarttijdperk, voor de lancering van de allereerste satelliet, realiseerden astronomen zich dat een baan om de aarde, boven de atmosfeer, een ideale positie zou zijn voor een sterrenkundig observatorium (zie kaderstukje: 'Waarom een telescoop in de ruimte?') De Amerikaanse astronoom Lyman Spitzer riep al in 1946 op tot de constructie van een ruimtetelescoop (met die term wordt een telescoop bedoeld die zich in de ruimte bevindt, niet gewoon een telescoop om naar de ruimte te kijken). Maar het zou nog vele jaren duren voor de droom van een grote telescoop in de ruimte werkelijkheid zou worden. Tegen het einde van de jaren zestig begonnen de plannen te kristalliseren tot een concreet ontwerp voor een *Large Space Telescope* (LST) met een spiegel-diameter van drie meter. Die zou in de ruimte gebracht worden met de toekomstige ruimtendel, waarover de NASA in die tijd begon na te denken, als opvolger van de Apollo-capsules. Eenmaal in de ruimte zou de LST regelmatig bezoek krijgen van een ruimtendelbemanning, voor onderhoud en herstellingen. Dat zou garanderen dat de telescoop



*De slecht geslepen  
hoofdspiegel van de  
ruimtetelescoop bij tests  
op aarde. © NASA*

een lange levensduur zou hebben en dat zijn wetenschappelijke instrumenten altijd up-to-date zouden blijven. In die tijd stelde de NASA zich voor dat de ruimtewandelaar goedkoop en betrouwbaar zou zijn, en dat bemande ruimtevaart in de jaren tachtig routine zou worden. Het zou zelfs mogelijk zijn de telescoop af en toe voor een 'groot onderhoud' mee terug naar de aarde te brengen in de laadruimte van de shuttle. En op het einde van zijn leven zou hij definitief naar de aarde terugkeren – wellicht om een ereplaats te krijgen in het Smithsonian Museum in Washington.

Budgettaire en politieke moeilijkheden in de jaren zeventig, waardoor het hele project bijna geschrapt dreigde te worden, leidden uiteindelijk tot een meer bescheiden ontwerp. De telescoop (niet langer *large*) zou een meer betaalbare spiegel van maar 2,4 meter krijgen, en de NASA zou de kosten niet alleen dragen. De Europese ESA werd binnengehaald als partner en in ruil voor de Europese bijdrage (onder meer een wetenschappelijk instrument en de zonnepanelen) zouden Europese astronomen 15 procent van de waarnemings-tijd ter beschikking krijgen. De lanceerdatum voor het herziene project werd vastgelegd op 1983, en de telescoop werd vernoemd naar Edwin Hubble, de Amerikaanse astronoom die in de jaren twintig de expansie van het heelal ontdekt had – naar Lyman Spitzer, de bezieler van het ruimtetelescoopproject zou later een andere sterrenkundige satelliet vernoemd worden.



Verschillende Belgische onderzoeksgroepen maken gebruik van de Hubblegegevens. Aan de *Université de Liège* (ULg) worden ultrascherpe beelden van de ACS- en NICMOS-camera's gebruikt om quasars, zwarte gaten en donkere materie te bestuderen via het gravitationele lenseeffect. Andere onderzoekers aan de ULg gebruiken de ACS-camera en de

STIS-spectrometer om de complexe processen te bestuderen die plaatsvinden in de magnetosfeer van Jupiter en die aanleiding geven tot aurora's zoals in onze eigen poolgebieden. Aan de ULg worden de beelden van Hubble gebruikt om de structuur en de dynamische evolutie van melkwegstelsels te onderzoeken.

## De Hubble Space Telescope in cijfers

*Locatie: Lage baan om de aarde, hoogte 589 km*

*Omlooptijd: 96 minuten*

*Gebouwd door: NASA en ESA*

*Lanceerdatum: 24 april 1990*

*Massa: 11 ton*

*Spiegeldiameter: 2,4 meter*

*Brandpuntsafstand: 57,6 meter*

*Type telescoop: Ritchey-Chrétien*

*Golflengtegebied: zichtbaar licht, ultraviolet, infrarood*

*Energiebron: zonnepanelen*

*Instrumenten (2007):*

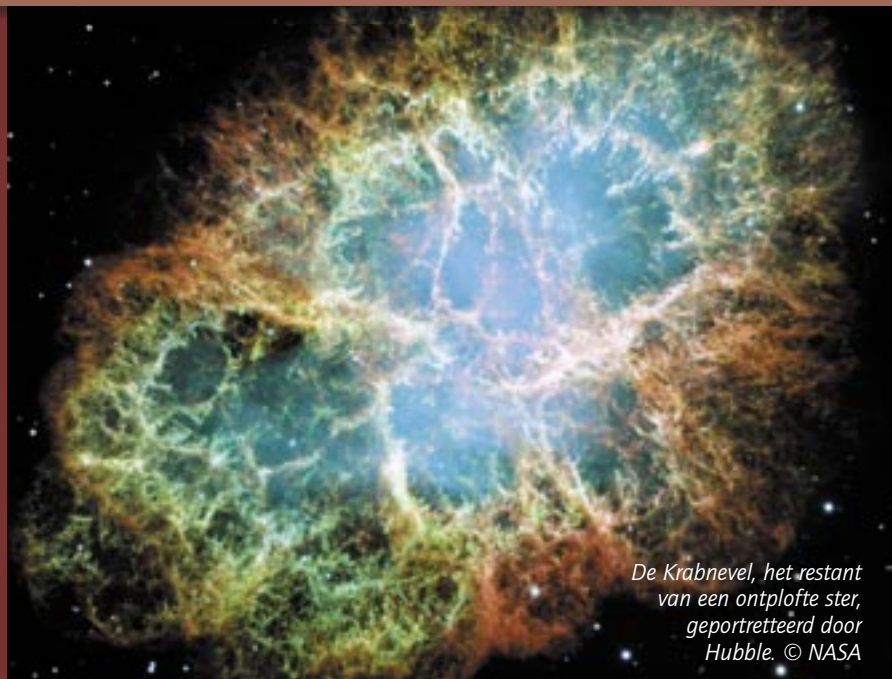
*NICMOS: infraroodcamera en spectrometer*

*ACS: camera voor zichtbaar licht (defect)*

*WFPC2: camera voor zichtbaar licht*

*STIS: spectrometer en camera voor zichtbaar licht (defect)*

*FGS: sensoren voor richten en bijsturen*



*De Krabnevel, het restant  
van een ontplofte ster,  
geportretteerd door  
Hubble. © NASA*



*Hubble wordt na zijn geslaagde reparatie in 1993 in de ruimte uitgezet.*  
© NASA

Uiteindelijk duurde het heel wat langer voor de telescoop echt in de ruimte was. Toen de telescoop begin 1986 eindelijk bijna klaar was, gooide het ongeluk met de ruimtewerf Challenger (op 28 januari 1986) roet in het eten. De ruimtewerfvluchten werden twee jaar lang stilgelegd, en de hele planning van shuttlelanceringen werd herzien. Het voorziene ritme van lanceringen werd sterk vertraagd. Pas op 24 april 1990 werd de Hubble Space Telescope (HST) eindelijk in een baan om de aarde geplaatst door de ruimtewerf Discovery.

De ruimtetelescoop is een spiegeltelescoop (reflector) van het type Ritchey-Chrétien, net zoals vele moderne grote telescopen op de begane grond. In zo'n telescoop wordt het licht verzameld door een holle (hyperbolische) hoofdspiegel, die het bundelt en naar een secundaire spiegel weerkaatst, vanwaar het naar de wetenschappelijke instrumenten gestuurd wordt. Die instrumenten zijn hoofdzakelijk camera's (om foto's te maken) en spectrografen (om het licht in zijn samenstellende golflengten te ontbinden). Hubble is voorzien van meerdere instrumenten (zie kader), die naar believen ingeschakeld kunnen worden. Een systeem van wegklapbare spiegeltjes bepaalt naar welk van de instrumenten het licht van de telescoop gestuurd wordt. De instrumenten zijn achterin de telescoop gemonteerd, met een soort 'modulair' systeem dat het voor astronauten gemakkelijk maakt om de instrumenten (ongeveer ter grootte van een telefooncel) te vervangen door nieuwe.

De verwachtingen voor de ruimtetelescoop waren bijzonder hooggespannen in de astronomische wereld en bij de NASA. Omdat het een unieke telescoop zou worden, met de beste prestaties ter wereld, hadden de ontwerpers gestreefd naar

een zo volmaakt mogelijke optische kwaliteit. De hoofdspiegel moest de beste worden die ooit voor een telescoop gemaakt was. De spiegel van een telescoop moet zeer nauwkeurig de voorgeschreven vorm hebben. Opdat de spiegel het licht correct naar zijn brandpunt zou weerkaatsen, moeten de oneffenheden op die spiegel kleiner zijn dan de golflengte van het licht (voor zichtbaar licht ongeveer tussen 400 en 750 nanometer of miljoenste millimeter). Bij vele telescopen wordt in de praktijk gestreefd naar een tolerantie van één vijfde of één tiende van de golflengte. Voor de hoofdspiegel van Hubble werd een nog striktere tolerantie van één twintigste golflengte opgelegd. Daartoe werd de spiegel uiterst nauwkeurig geslepen en grondig getest.

Groot was dan ook de consternatie toen bij de eerste tests van Hubble in de ruimte al snel bleek dat de telescoop geen scherpe beelden gaf. Onderzoek bracht aan het licht dat de spiegel een ernstige optische fout vertoonde: sferische aberratie. De oneffenheden van de spiegel waren weliswaar zeer klein, maar de globale vorm vertoonde een afwijking van maar liefst 2000 nanometer. De oorzaak van de fout bleek te liggen in een instrument dat door de optische fabrikant Perkin-Elmer gebruikt was om de spiegel op aarde te testen. Daarin stond een lens 1,3 millimeter verkeerd gepositioneerd, en dat leidde tot de verkeerde testresultaten. De ironie wilde dat er een reservespiegel voor de Hubble gemaakt was door Kodak. Die bleek nadien wél de correcte vorm te hebben, al werd hij vóór de lancering als van mindere kwaliteit beschouwd.

De telescoop was modulair ontworpen om diverse onderdelen gemakkelijk in de ruimte te kunnen vervangen, maar een vervanging van de hoofdspiegel was daarbij niet voorzien. De telescoop terug naar de aarde halen was ook geen optie: dat zou zeer duur geweest zijn, en de strengere veiligheidsvoorschriften na het Challengerongeluk sloten uit om een shuttle te laten landen met een zware lading aan boord. De reservespiegel kon daarom niet benut worden. In de plaats daarvan ontwierpen wetenschappers en ingenieurs van de NASA een andere oplossing: de telescoop zou een 'bril' krijgen. Er werd een systeem van twee spiegeltjes gebouwd, COSTAR (*Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement*) genoemd, dat voor de instrumenten geschoven kon worden. Een van de spiegels in COSTAR had een precies berekende ingebouwde 'afwijking', die exact de afwijking van de hoofdspiegel van Hubble moest opheffen. Om COSTAR te kunnen plaatsen werd één meetinstrument, een fotometer, opgeofferd. Daarnaast werd een nieuw instrument voor de Hubble, de WFPC2, al meteen van een ingebouwde optische correctie voorzien (wat ook bij alle volgende instrumenten het geval zou zijn).

In december 1993 werden COSTAR en WFPC2 in de ruimtetelescoop gemonteerd tijdens de eerste onderhouds- en reparatiemissie naar Hubble. De astronauten moesten voor

die tijd ongekend complexe werken uitvoeren tijdens vijf langdurige ruimtewandelingen. Tegelijk werden ook enkele gyroscopen en de Europese zonnepanelen vervangen (die bleken te veel trillingen te veroorzaken), en kreeg Hubble een betere computer. De reparatievlucht was een groot succes. Hoewel de hele episode een wrange nasmaak achterliet, beschikten de astronomen nu toch eindelijk over een goed functionerende telescoop in de ruimte.

Op dit moment zijn er al vier gelijkaardige onderhouds- en reparatievluchten geweest en een vijfde is in voorbereiding. Telkens werden kleine defecten hersteld (vooral de gyroscopen, die dienen om de stand van de telescoop in de ruimte te controleren, bleken weinig betrouwbaar en moesten geregeld vervangen worden) en werden oude instrumenten vervangen. De ruimtetelescoop Hubble die vandaag rond de aarde draait is daardoor een veel moderner instrument dan de Hubble uit 1990. Hij is voorzien van veel modernere camera's en spectrometers, waardoor hij nog steeds meedraait aan de spits van het sterrenkundige onderzoek.

### Wetenschap en fotografie met Hubble: een top vijf

De ruimtetelescoop Hubble heeft de voorbije zeventien jaar een schat aan wetenschappelijke informatie opgeleverd. In 2006 bevatte het archief van Hubbles observaties al 27 terabyte data. Op basis van die data hebben astronomen al meer dan 6300 wetenschappelijke artikels in vakbladen gepubliceerd. Bovendien blijkt dat de artikels gebaseerd op gegevens van Hubble gemiddeld zowat twee keer zo vaak geciteerd worden in de wetenschappelijke literatuur als andere sterrenkundige artikels.

De wetenschappelijke verdiensten van de ruimtetelescoop bestaan niet zozeer uit afzonderlijke 'ontdekkingen' die exclusief het werk van Hubble zouden zijn. Het onderzoek



Onderhoudsmis-  
sie in 1997.  
© NASA

met de ruimtetelescoop zit ingebed in nauwe samenwerkingsverbanden, waarbij astronomen uit de hele wereld niet alleen Hubble maar ook tal van instrumenten op de grond en in andere satellieten gebruiken. In die samenwerkingsverbanden heeft de ruimtetelescoop vaak een cruciale inbreng gehad. Een voorbeeld daarvan zijn de onderzoeksprojecten op het gebied van de kosmologie (de studie van het heelal als geheel) waaraan Hubble heeft meegewerkt. Mede dankzij Hubble beschikken we nu over een veel nauwkeuriger beeld van ons heelal dan twintig jaar geleden. We weten nu hoe snel het heelal uitzet en dat die uitzetting sneller en sneller gaat (in plaats van trager en trager, zoals vroeger gedacht werd), en we weten vrij nauwkeurig hoe oud het heelal is (13,7 miljard jaar). Ook exoplaneten, dat zijn planeten die rond andere sterren dan de zon draaien, zijn uitgebreid bestudeerd met behulp van Hubble. De ruimtetelescoop heeft de eerste metingen verricht van de samenstelling van de atmosfeer van zo'n exoplaneet.

## Waarom een telescoop in de ruimte?

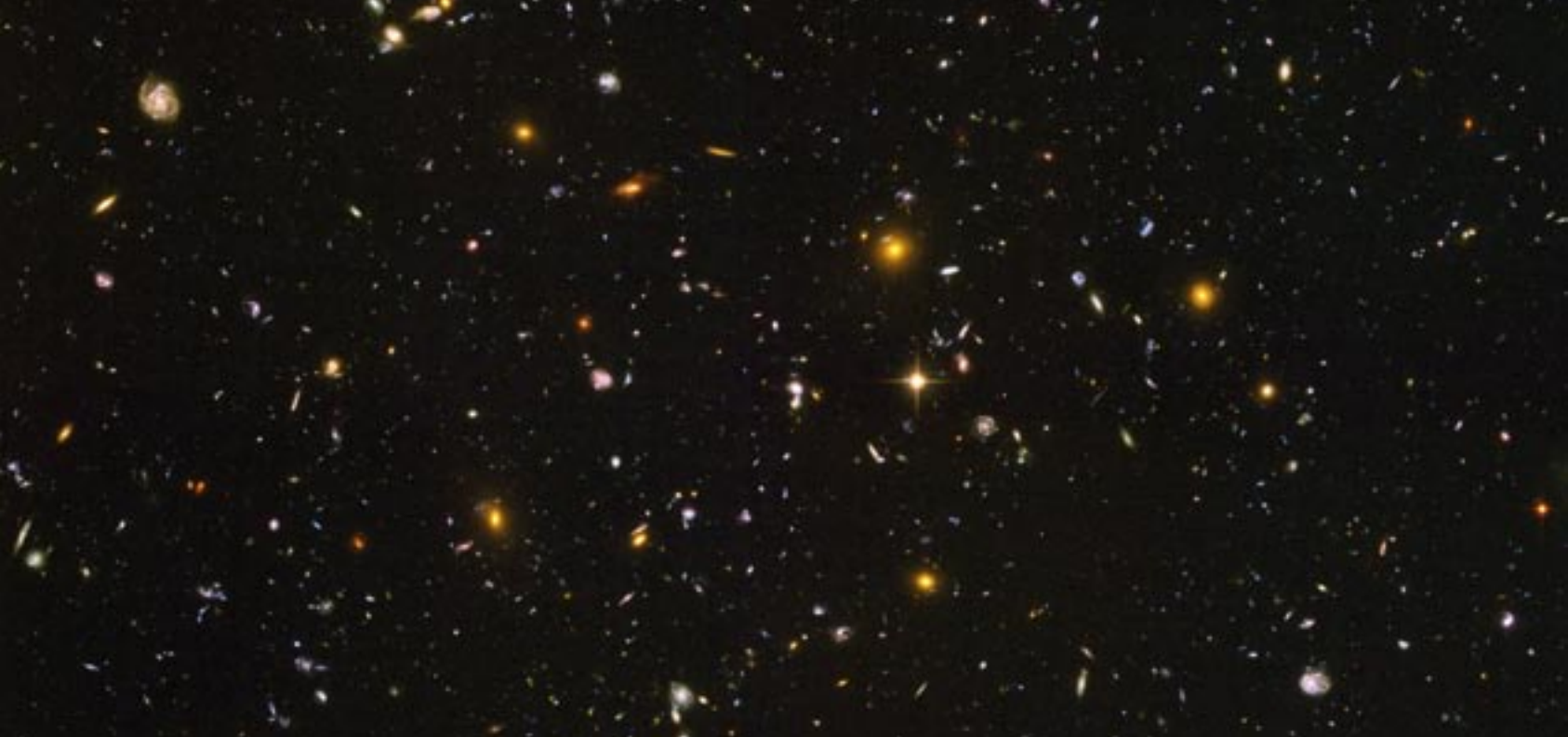
*De reden waarom astronomen graag een in de ruimte geplaatste telescoop willen, is niet omdat de telescoop dichterbij de hemellichamen staat waar hij kijkt. De zowat zeshonderd kilometer die Hubble boven het aardoppervlak zweeft, zijn volstrekt verwaarloosbaar vergeleken met de immense afstanden van de sterren en melkwegstelsels die hij observeert.*

*Waarom dan wèl een telescoop in de ruimte? Er zijn twee redenen, die beide te maken hebben met de hinderlijke invloed van de atmosfeer van onze aarde. Ten eerste maken de voortdurende bewegingen van de lucht het beeld van de hemellichamen een beetje*

*onscherp. Daardoor wordt het moeilijk om vanop de begane grond fijne details van hemellichamen te zien, hoe goed ook de gebruikte telescoop. In de ruimte is er geen bewegende lucht en wordt de scherpte van het beeld alleen bepaald door de grootte en de kwaliteit van de telescoop. Ten tweede houdt de atmosfeer vele soorten straling uit de ruimte volledig of grotendeels tegen. Het zichtbare licht is een gelukkige uitzondering, maar straling met andere golflengten, zoals infrarode, ultraviolette of röntgenstraling, wordt grotendeels tegengehouden. Om die straling waar te nemen zijn dus instrumenten nodig die boven de atmosfeer geplaatst zijn. Voor vele soorten straling,*

*zoals röntgenstraling en ver-infrarode straling, zijn er gespecialiseerde satellieten gebouwd, maar ook een gewone telescoop voor zichtbaar licht in de ruimte zoals Hubble, kan toch heel wat infrarood en ultraviolet licht meepikken.*

*Astronomen kunnen tegenwoordig een deel van de nadelen van de atmosfeer omzeilen door gebruik te maken van moderne technologie (zogenoemde 'adaptieve optiek') en door hun telescopen op hoge bergtoppen te plaatsen (boven althans een deel van de atmosfeer) of zelfs in vliegtuigen of ballons, maar een waarneemplaats in de ruimte blijft toch onovertroffen.*



*Het Hubble Ultra Deep Field (2005):  
ontelbare melkwegstelsels  
aan de rand van het  
zichtbare heelal.*  
© NASA

De fascinerende observaties die gebeurd zijn met behulp van de Hubble zijn bijna te talrijk om op te sommen. Elke astronoom – en elke liefhebber van fraaie foto's van de kosmos – heeft wel zijn eigen lijstje van favoriete Hubbleobservaties. Space Connection brengt zijn eigen top vijf van mooie én wetenschappelijk interessante foto's.

1) Het *Hubble Deep Field*: melkwegstelsels aan de rand van het heelal  
Hubble heeft een reeks opnamen gemaakt, *Hubble Deep Fields* en *Hubble Ultra Deep Field* genaamd, waarbij de telescoop dagenlang op één klein stukje hemel gericht werd, om daarin zo ver mogelijk te kunnen kijken. Op de beelden zijn melkwegstelsels te zien op dertien miljard lichtjaar van ons. Hun licht werd uitgezonden toen het heelal nog maar vijf procent van zijn huidige leeftijd (van 13,7 miljard jaar) had. De opnamen geven astronomen een schat aan informatie over de vroege jeugd van het heelal.

*De Katoognevel,  
het overblijfsel van een  
stervende ster.*  
© NASA



2) De 'pilaren van de schepping'

Een foto van Hubble uit 1995 die bekend staat als de *Pillars of Creation* is uitgegroeid tot een cultureel icoon. Het is misschien wel de mooiste van alle Hubble-opnamen. Hij toont gas- en stofwolken op 7000 lichtjaar van ons. In de gaswolk worden nieuwe sterren geboren.

3) Donkere vlekken op Jupiter

In 1994 stortte de komeet Shoemaker-Levy 9 neer op de reuzenplaneet Jupiter. De brokstukken van de komeet lieten donkere stofwolken achter in de atmosfeer van de planeet. Het was voor het eerst dat astronomen zo'n gewelddadige botsing in het zonnestelsel *live* zagen gebeuren.

4) Het schuilhol van het Beest

In de kernen van vele melkwegstelsels vermoeden astronomen de aanwezigheid van reusachtige zwarte gaten. De zwarte gaten zelf zijn te klein om gezien te worden op die afstand, maar Hubble heeft wel de omgeving ervan gefotografeerd. Op deze foto is te zien hoe een zwart gat (zelf onzichtbaar verborgen in het midden) omgeven wordt door een dikke ringvormige wolk van stof.

5) De laatste adem van een ster

De etherische schoonheid van deze 'Katoognevel' is het resultaat van de laatste stuip trekkingen van een stervende ster. De ster heeft haar buitenste lagen gas in de ruimte uitgestoten, waardoor een zogeheten 'planetaire nevel' is ontstaan (ondanks de naam heeft die niets met planeten te maken).

## Ouderdomskwaaltjes en twijfels

Hubble leidt aan ouderdomskwaaltjes. De gezondheid van de telescoop gaat er snel op achteruit, en bovendien is er ernstige twijfel gerezen over zijn toekomstvooruitzichten, vooral sinds het ongeluk met de ruimteward Columbia op 1 februari 2003. Na de ramp met Columbia begon de NASA

eraan te twijfelen of het wel haalbaar was om Hubble te blijven onderhouden met shuttlevluchten. President George Bush besliste om de shuttles tegen 2010 uit dienst te nemen, en de nog resterende vluchten zouden prioritair dienen om het ruimtestation ISS te voltooiën. Bovendien werd een ruimtevlucht naar Hubble als gevaarlijker beschouwd. Als bij de lancering van een shuttle naar het ISS het hitteschild beschadigd geraakt, kunnen de astronauten hun toevlucht zoeken in het ISS en daar wachten tot ze worden opgehaald door een tweede shuttle. Maar bij een vlucht naar de Hubble Space Telescope bestaat die mogelijkheid niet, omdat de baan van Hubble te sterk verschilt van die van het ISS. De toenmalige directeur van de NASA, Sean O'Keefe besliste daarom eerst dat er geen shuttlevluchten naar Hubble meer mochten worden uitgevoerd. In de plaats zou een robotsonde worden ontwikkeld die zich aan Hubble zou vasthechten en de telescoop gecontroleerd zou doen neerstorten (om te voorkomen dat hij later ongecontroleerd zou neerkomen, waarbij mogelijk brokstukken op bewoond gebied zouden kunnen vallen). De huidige directeur van de NASA, Mike Griffin, is op die beslissing teruggekomen, mede onder grote druk vanuit de wetenschappelijke wereld. Momenteel staat er nog één finale onderhoudsmis­sie naar Hubble op het programma. Volgens de huidige planning zou die mis­sie moeten worden uitgevoerd door de ruimtewandelaar Atlantis, in september 2008. Tijdens de mis­sie zal een tweede ruimtewandelaar paraat staan op de lanceerbasis Cape Canaveral, om in geval van nood snel gelanceerd te kunnen worden.

De reparaties aan Hubble zijn dringend nodig. Er zijn nu zoveel gyroscopen uitgevallen dat er geen enkele reserve meer overblijft. Als er nog één gyroscoop het laat afweten, dan gaan de observaties eronder lijden, omdat het moeilijker



wordt om de telescoop correct te richten, en gericht te houden tijdens een waarneming. Bovendien zijn er al twee van Hubbles wetenschappelijke instrumenten defect. De ACS (*Advanced Camera for Surveys*), de belangrijkste en beste camera aan boord, ging in januari 2007 stuk, en is momenteel enkel nog beperkt bruikbaar voor ultravioletwaarnemingen. De spectrograaf STIS is al defect sinds 2004. Bij de reparatiemis­sie van Atlantis in 2008 moet de STIS gerepareerd worden. Het is nog niet duidelijk of ook de ACS gerepareerd of vervangen kan worden.

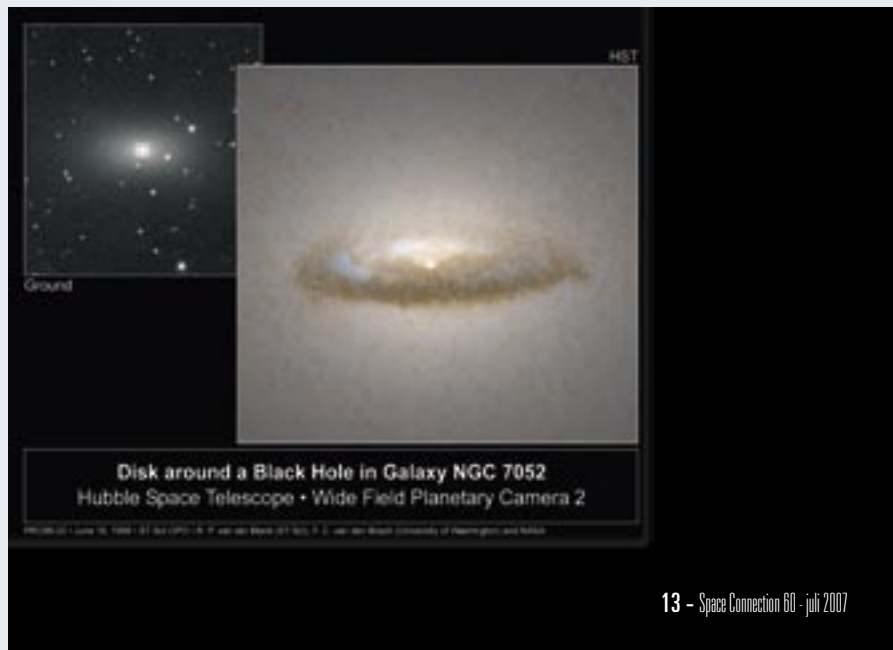
*De 'Pillars of creation', een geboorteplaats van sterren. © NASA*

Dankzij de laatste onderhoudsbeurt zou de ruimtetelescoop tot in 2013 moeten kunnen functioneren. Dan wordt, als alles volgens plan verloopt, de *James Webb Space Telescope* (JWST) gelanceerd, de opvolger van Hubble.

*Jupiter met vlekken na de inslag van komeet Shoemaker-Levy 9 in 1994. © NASA*



*Een ring van stof rond het zwarte gat in het melkwegstelsel NGC 7052. © NASA*



# Studentenkoze

Libertad 1 is de eerste Colombiaanse satelliet, die op 17 april gelanceerd werd vanaf de kosmodroom Bajkonoer. Deze *Cubesat* van amper 0,995 kilogram is met één hand vast te houden en werd ontwikkeld door een team van professoren en studenten van de Universidad Sergio Arboleda in Bogotá. Zolang zijn batterijen het toelaten zal deze nanosatelliet vanop een hoogte tussen 660 en 787 kilometer boodschappen doorsturen. Libertad 1 werd bijna 50 jaar na de eerste Spoetnik gelanceerd en is het resultaat van een pedagogisch project met internationale allure. Hij is gebaseerd op het concept Cubesat van een Amerikaanse universiteit en werd met een Russisch-Oekraïense raket in een baan om de aarde gebracht. Zoals Libertad 1 zijn er nog veel andere voorbeelden.

Sinds een tiental jaar zijn er in onderwijsmilieus in heel de wereld teams van studenten ontstaan die zich toeleggen op de ontwikkeling van uiterst kleine satellietjes. Ze willen een nieuwe wereld bereiken - de extreme en moeilijk toegankelijke ruimteomgeving - en doen dat aan het einde van hun studies in groepsverband. Ze willen kleine, compacte, lichte, goedkope en betrouwbare kunstmaantjes ontwikkelen, bouwen en exploiteren. Meestal bestuderen die satellietjes het aardoppervlak (teledetectie of *remote sensing*), het heelal (sterrenkunde) of *in situ* de ruimte rond de aarde (straling, micrometeorieten, ruimterommel).

## Uitdagingen en risico's

Deze pedagogische benadering moet toekomstige ingenieurs, jonge onderzoekers en een nieuwe generatie studenten vertrouwd maken met de eisen en problemen van een ruimteproject en, vooral, met teamwerk. Deze aanpak is door zijn inter-

disciplinair karakter heel ambitieus en stoutmoedig en heeft heel wat troeven, even groot als de uitdagingen die overwonnen moeten worden:

- De studentensatellieten moeten licht, compact en goedkoop zijn en tegelijk degelijk. Daarvoor zijn technologische oplossingen nodig met innoverende systemen en instrumenten. Software voor de ontwikkeling van structuren, materialen en mechanismen en om te zien hoe die zich in de ruimte gedragen is onontbeerlijk. Het is ook belangrijk na te gaan wat de mogelijkheden zijn voor een *low cost* lancering, zodat de satelliet onder de beste voorwaarden de ruimte kan ingaan. Men moet ook grondstations ontwikkelen en bouwen voor de vluchtleiding en het verzamelen van gegevens.
- De kwalificatie van zogenaamde kant-en-klare *Components Off The Shelf (COTS)* tegen trillingen bij de lancering, het luchtledige, intense straling en temperatuurverschillen veronderstellen een solide kennis over de vooruitgang van de micro-elektronica en een perfecte kennis over de kenmerken en risico's van een ruimtemissie. Een correcte simulatie van de omstandigheden waarin de vlucht zal plaatsvinden is een essentiële voorwaarde. De studenten moeten zich ook bekwamen in *hands-on training*, een praktische opleiding over hightech innovaties, die ook *disruptive technologies* worden genoemd (en die een technologische sprong aanduiden).
- Een satelliet ontwikkelen, hoe klein ook, is een waar avontuur en vereist een planning in verschillende fasen: het eerste concept, de haalbaarheid, de ontwikkeling en de integratie. Die planning is noodzakelijk en men moet er zich ook aan houden. Een probleem is dat voor een team van studenten de kalender van een project niet overeenstemt met de duur van een studieprogramma. Een masteropleiding met stages en werk duurt slechts twee jaar. De universiteit of polytechnische school moet erover waken dat de continuïteit van het project verzekerd blijft door een dynamische aflossing van de wacht onder het wakend oog van een enthousiaste professor.
- Een ruimteprogramma verplicht een team om samen te werken door banden aan te knopen, via uitwisselingen en met internationale partnerschappen. Professoren, assistenten en studenten delen rond een experiment of een technologie hun kennis en competentie met anderen. In Europa bestaan er veel mogelijkheden: het netwerk *Top Industrial Managers for Europe (TIME)*, het programma Erasmus van de Europese Commissie, prijzen (zoals de Odisseaprijs van de Belgische Senaat) en beurzen voor stages of specifieke initiatieven bij ESA.

Professor Udo Renner  
van de Technische  
Universiteit Berlin,  
naast de microsatelliet  
Lapan-Tubsat, die voor  
Indonesië werd  
ontwikkeld. © TUB



# satellieten

■ Samenwerken bij de ontwikkeling van een kleine satelliet voor toegepast ruimteonderzoek kan een globale dimensie aannemen in het kader van technologische transfer: landen 'in ontwikkeling' of 'opkomende' landen die voor hun behoeften in ruimtesystemen geïnteresseerd zijn (voor het beheer van natuurlijke rijkdommen, waarneming van het milieu, voorkomen van risico's...) willen een kern van ingenieurs, onderzoekers en specialisten tot stand brengen met de hulp van universiteiten en hogescholen in Europa. Hiervan zijn er twee mooie voorbeelden: de University of Surrey (in het Verenigd Koninkrijk) en de Technische Universität Berlin (Duitsland). Dankzij de eerste kunnen instituten in Zuid-Korea, Portugal, Thailand, Chili, China, Algerije, Turkije en Nigeria (samen met de nodige knowhow) hun eigen microsatteliet verwerven. Meestal gaat het om een kunstmaantje voor aardobservatie. De tweede heeft Marokko en Indonesië geholpen bij de ontwikkeling van een microsatteliet voor aardobservatie.

De belangrijkste les die uit de studentenprojecten moet worden getrokken is dat de ruimte:

- een enorme stimulans vol innoverende uitdagingen is voor "grijze materie"
- de inzet is voor vakoverschrijdende activiteiten met praktische toepassingen
- een instrument is dat grenzen overschrijdt.

Instellingen voor hoger onderwijs in Duitsland, Italië, de Scandinavische landen en onlangs in Nederland (in het zog van ESTEC, het Europees Centrum voor Ruimteonderzoek en Technologie van ESA in Noordwijk) hebben dit goed begrepen. Daar werden groepen van studenten opgericht om kleine, heel kleine en uiterst kleine satellietjes te realiseren, van de ontwikkeling tot de exploitatie. Dat is niet helemaal zonder risico: voor jongeren is het een werk van lange adem, dat past in een logica van continuïteit. Vooral hun goede wil kan hard op de proef worden gesteld. Het satellietje dat ze zo minutieus hebben voorbereid voor een ruimtemissie kan bij een mislukte lancering of door een elektronische panne tijdens een van de eerste banen rond de aarde totaal verloren gaan...

## Engelse pioniers

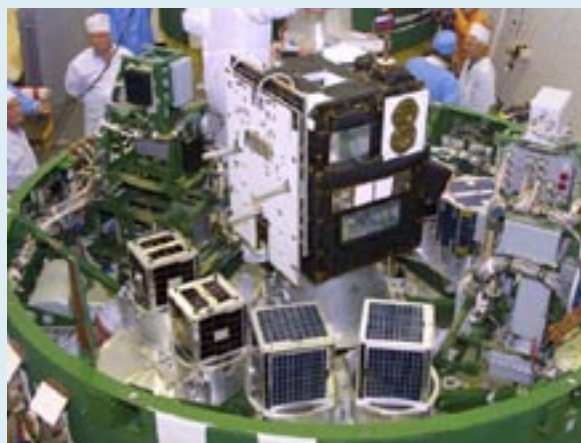
De trend om van micro- en nanosatellieten educatieve instrumenten te maken ontstond op het eind van de jaren '70 aan de



*De Universiteit van Aalborg in Denemarken geeft het voorbeeld met deze kubusvormige satelliet Aausat 2, die in de herfst in India wordt gelanceerd. © Aalborg University*



*De Russisch-Oekraïense lanceerraket Dnepr is afgeleid van de intercontinentale raket Satan en wordt vanuit een silo afgevuurd. Deze raket bracht al verschillende micro- en nanosatellieten in de ruimte. © ISC Kosmotras*



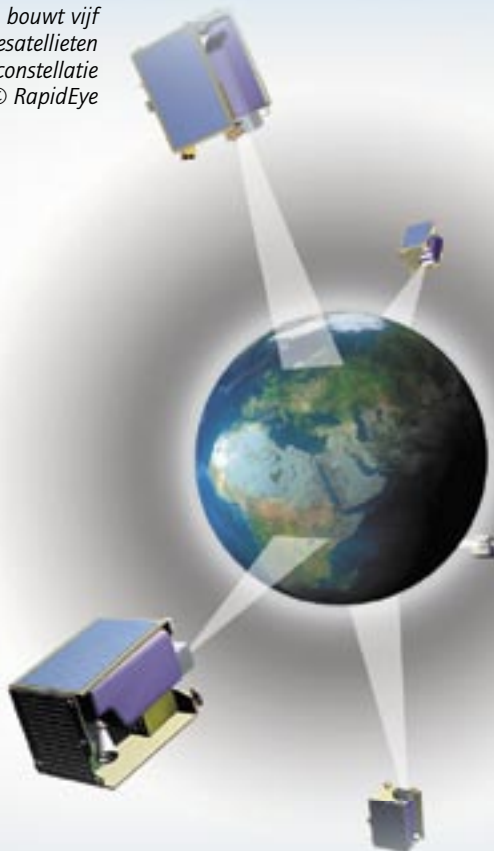
*Onder de neuskegel van een Dnepr-lanceerraket bevinden zich een hele reeks kleine en heel kleine satellietjes. © ISC Kosmotras*

University of Surrey in het Verenigd Koninkrijk. Sir Martin Sweeting was toen een jonge professor aan het departement van de elektronica-ingenieurs. Hij lanceerde 'de revolutie van de smallsats' door een groep van onderzoekers en studenten een kleine satelliet van 50 kilogram voor radioamateurs te laten ontwikkelen. Uosat 1 werd in twee en een half jaar ontwikkeld en werd in oktober 1981 gelanceerd. Hij was bijzonder omdat hij een programmeerbare microprocessor aan boord had. Een tweede Uosat werd in anderhalf jaar tijd gebouwd, in maart 1984 gelanceerd en zendt nog steeds signalen uit!

Nu is het kleine team van professor Sweeting op de universiteits-campus heel belangrijk geworden. Intussen gingen al 27 satellietjes succesvol de ruimte in en werd het *Surrey Space Centre (SSC)* opgericht om de kunstmanen te bouwen en te testen en stagiairs van over heel de wereld te ontvangen. In 1985 werd het bedrijf *Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL)* opgericht om de universitaire knowhow ('goedkope' ruimtesystemen met krachtige toepassingen) te commercialiseren. Sinds de zomer van 2006 beschikt SSTL over een eigen infrastructuur, het *Tycho House*. Daar realiseren 220 mensen een jaarlijks zakencijfer van maar liefst 45 miljoen euro. De belangrijkste troeven van Surrey? Een synergie tussen academisch onderzoek en commerciële exploitatie en de formule van kant-en-klare geminiaturiseerde technologie voor innoverende missies in de ruimte.

SSTL wil de 'viciuze' cirkel van overdreven grote systemen met een groot risico en hoge kosten doorbreken door het gebruik van *COTS* (commerciële kant-en-klare bestanddelen) en *MEMS* (elektromechanische microsystemen). Kernbegrippen zijn: een korte ontwikkeling, lage prijzen en beheersbare risico's. Daardoor kon

SSTL bouwt vijf  
aardobservatiesatellieten  
voor de constellatie  
RapidEye. © RapidEye



SSTL het Galileo-systeem van ESA 'redden' door in minder dan 30 maanden tijd de kleine testsatelliet GIOVE A te leveren, die het bovendien heel goed doet.

Een ander succes van SSTL is een constellatie van kleine wendbare satellieten met multispectrale camera's voor de dagelijkse waarneming van de aarde. Deze *Disaster Monitoring Constellation (DMC)* bestaat uit vijf microsattelieten die gefinancierd en beheerd worden door Algerije, Nigeria, Turkije, het Verenigd Koninkrijk en China. In 2008 komt daar nog het Spaanse satellietje Deimos 1 bij. Ten vroegste eind dit jaar gaat een constellatie van vijf identieke microsattelieten voor het Duitse bedrijf RapidEye de ruimte in.

### Cubesat, een Amerikaanse referentie

Neem een kubus met zijden van 10 centimeter, een lichte en eenvoudige structuur en een massa van nauwelijks één kilogram met alle boordsystemen (standregeling, elektrische voeding, sensoren voor waarnemingen, zenders om te communiceren). Met dit Cubesat-concept kan een groep studenten snel vertrouwd geraken met ruimtevaarttechnologie. Het idee rijpte in Californië in 1999 en is het resultaat van de samenwerking tussen professoren van de California Polytechnic State University (Cal Poly) van San Luis Obispo en de Stanford University van Palo Alto. Op hun website ([www.cubesat.org](http://www.cubesat.org)) zijn het plan en de criteria van de standaardnanosatelliet terug te vinden, samen met een volledige kit om de satelliet te bouwen en een mechanisme voor een lancering met verschillende kunstmanen.

Zo'n 60 universiteiten en hogescholen in heel de wereld - waarvan een twintigtal in Europa - nemen aan het programma Cubesat deel. Ofwel willen ze met een heel kleine satelliet een project ontwikkelen, ofwel willen ze deel uitmaken van een wereldwijd netwerk voor de ontvangst van gegevens. Het educatieve belang van Cubesat is duidelijk en deze formule kent steeds meer een enthousiaste aanhang. Tussen het ontwerp van een missie en de lancering van een Cubesat verlopen minstens twee academiejaren.

De realisatie van een Cubesat zorgt voor heel wat uitdagingen omwille van het kleine volume en massa en de beperkte beschikbare elektrische energie. Om deze handicaps op te lossen is heel wat vindingrijkheid nodig rond technologische hoogstandjes voor de stabilisatie, het energieverbruik en de aanpassing van de nanosatelliet aan de geplande missie. Zo is het model *Triple Cubesat* ontstaan, dat lange instrumenten kan meenemen en meer ruimte ter beschikking heeft voor zonnecellen. De Technische Universiteit Delft (TU Delft) heeft met het project Delfi-C3 de beperkingen op het vlak van energie kunnen omzeilen door zijn nanosatelliet te voorzien van zonnepanelen die zich als bloembladen openen...

### Van de aarde naar de maan: een studentenrace in 2011?

De eerste Europese maansonde SMART 1 met elektrische voortstuwing was een groot succes en wekte interesse op bij Euro-



pese studenten. Waarom zou de maan geen reisdoel kunnen zijn voor kleine ruimtesondes? Momenteel wordt gedacht aan twee missies voor 2011-2012:

- In het Institut für Raumfahrtsysteme van de Universiteit van Stuttgart werken ongeveer 80 professoren en onderzoekers en 20 tot 30 doctoraatsstudenten. Ze willen de sonde BW 1 (Baden-Württemberg) naar de maan sturen en er vervolgens op te pletter laten storten. Professor Hans-Peter Roeser leidt het project en denkt aan vier missies in de komende 6 tot 8 jaar. *'Het gaat om een verticale benadering en we nemen wel enkele risico's. We willen ervoor zorgen dat onze studenten de uitdagingen van ruimtevaarttechnologie onder de knie krijgen. We willen tegen 2011-2012 met elektrische voortstuwing een sonde naar de maan sturen. We denken dat we deze maanmissie kunnen realiseren met een budget van 10 tot 12 miljoen euro.'*

- De educatieve afdeling van ESA werkt aan de *European Student Moon Orbiter (ESMO)*. Het project past binnen het *programma Student Space Exploration & Technology Initiative (SSETI)* en staat onder leiding van Roger Walker. De beslissing valt in de zomer van 2007. Teams van studenten uit Europa en Canada willen de Cubesat Lunette in een baan rond de maan brengen. Ze werken momenteel aan het satellietplatform en de nuttige lading. Alleen moet nog het nodige geld op tafel komen.

### LEODIUM... ad astra!

De vereniging *Liège Espace*, die verschillende departementen van de Université de Liège (ULg) en bedrijven in de omgeving van Luik verenigt, lanceerde einde 2004 het idee voor het project *Low Earth Orbit Demonstration of Innovation in University Mode*, kortweg LEODIUM, wat meteen ook de oude Latijnse naam voor Luik is. LEODIUM wil jongeren warm maken voor wetenschappelijke en technische studies en loopbanen. Het wil studenten doen deelnemen aan de voorbereiding van een satelliet aan het eind van hun studies en via stages in ondernemingen.

(vervolg op pagina 20)



De TU Delft zal zijn eerste nanosatelliet Delfi-C3 deze herfst lanceren met behulp van een Indiase raket.  
© TU Delft



Wanneer een Cubesat een andere soortgenoot fotografeert... Deze foto van Cal Poly n°4 werd, nadat hij in een baan om de aarde kwam, genomen door AeroCube 2 op 17 april 2007.  
© Cubesat



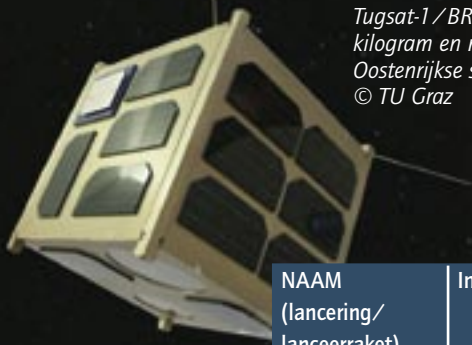
Professor Robbert J. Hamann toont de structuur van de Triple Cubesat die gebruikt zal worden voor de nanosatelliet Delfi-C3.  
© Th.P./SIC

## PROBA

België is op dit vlak actief met de ontwikkeling van de microsattelieten PROBA. PROBA-1, gelanceerd in 2001, is een satelliet voor aardobservatie en verschaft nog steeds dagelijks nuttige beelden van onze planeet vanuit de ruimte. Hij werd gebruikt door o.a. scholieren in het kader van het EduProba-project. Momenteel wordt gewerkt aan PROBA-2 die zal gelanceerd worden in 2008 en die naast de demonstratie van een heel aantal nieuwe technologieën ook de zon zal bestuderen. Meer informatie is te vinden via:

[www.belspo/res/rech/spatres/indus\\_nl.stm](http://www.belspo/res/rech/spatres/indus_nl.stm)  
[www.esa.int/esaMI/Proba\\_web\\_site/](http://www.esa.int/esaMI/Proba_web_site/)  
[www.eurospacecenter.be/probanl.htm](http://www.eurospacecenter.be/probanl.htm)

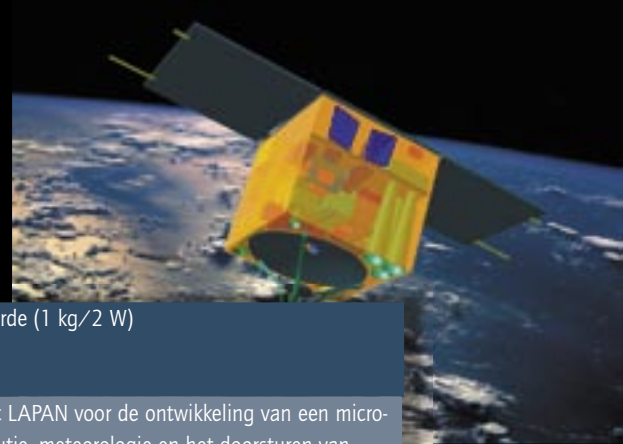
Tugsat-1 / BRITE weegt slechts één kilogram en moet de eerste Oostenrijkse satelliet worden.  
© TU Graz



## Tabel van studentensatellieten in Europa

NAAM (lancering/ lanceerraket)	Instelling (Land)	Doel van het project (massa/maximaal vermogen)
AAAU-II CUBESAT (2007/Indiase PSLV)	Aalborg Universitet (Denemarken)	Tweede Deense nanosatelliet van het type Cubesat voor een astrofysische missie (1 kg/3 W?)
ALMASAT 1 (2008/Russische Dnepr?)	Università di Bologna + Almaspace (Italië)	Alma Mater Satellite: microsatelliet voor onderzoek van de ruimte (12 kg/35 W)
AMSAT P3 EXPRESS (2008/Ariane 5)	Amsat-Deutschland + Universität der Bundeswehr München (Duitsland)	Satelliet voor radioamateurs, afgeleid van Amsat P3D, die al rond de aarde draait. Bedoeld om technologie te testen voor de ambitieuze Marssonde Amsat P5A (150 kg/350 W?)
AMSAT P5A MARS ORBITER (2011/?)	Amsat-Deutschland + Universität der Bundeswehr München (Duitsland)	Marssonde van radioamateurs, bedoeld om gespecialiseerde nanosatellieten uit te zetten of een capsule in de atmosfeer van Mars te laten afdalen. Project voor de ontplooiing van de ballonsonde ARCHIMEDES (Aerial Robot Carrying High-resolution Imaging and Direct Environmental Sensing instruments) (660 kg met voortstuwingssysteem?/350 W?)
ATMOCUBE (2010/Russische Dnepr?)	Università di Trieste (Italië)	Wetenschappelijke nanosatelliet met dosimeters en magnetometers om gegevens over het 'ruimteweer' te verzamelen (1 kg/2.3 W)
BESAT/ (2009/Russische Dnepr?)	TUB/Technische Universität Berlin (Duitsland)	Op 3 assen gestabiliseerde technologische nanosatelliet met microgeminatueriseerde inertiewielen en uitgerust met een picocamera (1 kg/1,5 W)
BEOSAT (2008/Russische Dnepr?)	TU Braunschweig/ERIC (Duitsland)	Onderzoek van het milieu, waarneming van micrometeorieten en ruimterommel. Geen recent nieuws beschikbaar over de ontwikkeling (45 kg/100 W)
BW 1 (2012/?)	Universität Stuttgart/IRS (Duitsland)	Minimaansonde van Baden-Württemberg, uitgerust met elektrische propulsie (arcjet en plasma) en met een camera die de maan 'rechtstreeks' kan overvliegen (200 kg/tot 1 kW)
COMPASS 1 CUBESAT (2007/Indiase PSLV)	FH/Fachhochschule Aachen (Duitsland)	Nanosatelliet van het type Cubesat, uitgerust met een Omnivision-sensor voor het maken van opnamen (1-2 kg/2 kW?)
DELFI C3 (2007/Indiase PSLV)	TU/Technische Universiteit Delft (Nederland)	Technologische Triple Cubesat, bedoeld om zonnecellen en -sensoren en een communicatiesysteem te testen. Origineel kunstwerk KISS (afdruk van een menselijke kus) aan boord (3 kg/10 W ?)
DESIRE/CERMIT (2011/Indiase PSLV ?)	Universität Stuttgart/IRS (Duitsland)	Demonstrator Satellite for Reentry Experiments/Controlled Earth Reentry Mini-vehicle to Improve Technology of ruimtesysteem met elektrische voortstuwing om een ruimtetuig te testen dat in de atmosfeer terugkeert (150 kg/500 W)
DOBSON SPACE TELESCOPE (2010/?)	TUB/Technische Universität Berlin (Duitsland)	Ontwikkeling van een waarnemingssysteem met hoge resolutie met de TUBsat-structuur. Onderzoeksproject voor een microsat-structuur. (100 kg/250 W ?)
DTUSAT 2 (2008/Russische Dnepr?)	DTU/Danmarks Tekniske Universitet (Denemarken)	Nanosatelliet van het type Cubesat om nieuwe geminatueriseerde bestanddelen en detectoren te testen, project voor het volgen van trekvogels (1 kg/2 W)
ESEO (2009/ Ariane 5 of Sojoez of Vega?)	Education Department ESTEC (Nederland) + universiteiten en polytechnische scholen in Europa	ESA-programme Student Space Exploration & Technology Initiative (SSETI): European Student Earth Orbiter in een transferbaan voor waarnemingen van de aarde. Deelname van de Universit� de Liège bij de ontplooiing van de zonnepanelen (120 kg/200 W?)
ESMO (2012/ Ariane 5 of Sojoez of Vega?)	Education Department ESTEC (Nederland) + universiteiten en polytechnische scholen in Europa	ESA-programme Student Space Exploration & Technology Initiative (SSETI): European Student Moon Orbiter of micromaansonde met elektrische of chemische voortstuwing? Deelname van de Universit� de Liège voor de camera die beelden met details van 10 meter moet maken (180 kg/400 W ?)
FLYING LAPTOP/ RENT A SAT 1 (2008/Indiase PSLV)	Universität Stuttgart/IRS (Duitsland)	Technologische microsatelliet die zoals een pc in een baan om de aarde werkt, voor waarnemingen met details van 25 meter, uitzendingen in Ka-band en tests voor de sonde BW 1 (100 kg/200 W)
HEIDELSAT (2009/?)	FH/Fachhochschule Heidelberg (Duitsland)	Wetenschappelijke Triple Cubesat om neerslag van kosmische straling op de aarde te meten (3 kg/6 kW)

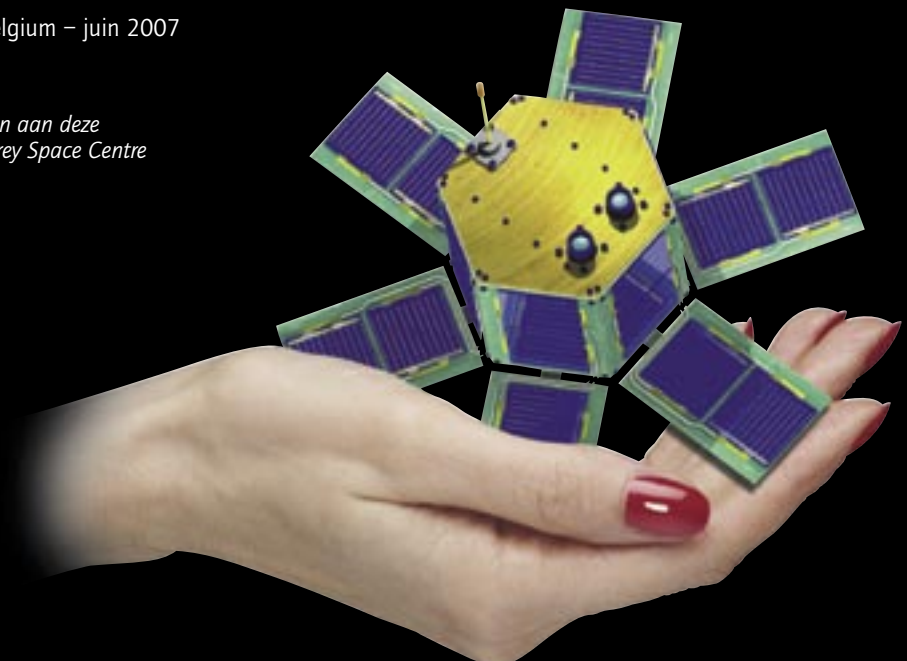
*De Flying Laptop is de eerste door studenten ontworpen satelliet van de Universiteit van Stuttgart. De 'vliegende pc' moet in 2008 met een Indiase raket worden gelanceerd. © IRS*



ITU-PSAT 1 (2008/Russische Dnepr)	Istanbul Teknik Üniversitesi (Turkije)	Nanosatelliet voor waarnemingen van de aarde (1 kg/2 W)
LAPAN-TUBSAT (2007)	Technische Universität Berlin TUB/ILR (Duitsland)	Samenwerking met het Indonesisch instituut LAPAN voor de ontwikkeling van een microsatelliet voor aardobservatie met hoge resolutie, meteorologie en het doorsturen van boodschappen. Lancering met een Indiase PSLV-raket (50 kg/14 W)
MicroPPTSat (2009-2010?)	Austrian Research Centers (Oostenrijk)	Tests met elektrische micromotoren (plasmajets) (1 kg/2 W)
NCUBE 3 (2008?)	Norsk Romsenter + Andøya Rocket Range (Noorwegen)	Technologische nanosatelliet, gerealiseerd door studenten voor de Noorse defensie, bedoeld voor de waarneming van de scheepvaart. Ncube 2 werd gelanceerd vanaf SSETI Express in oktober 2005 maar laat niets van zich horen, Ncube 1 ging verloren bij een mislukte lancering van de Dnepr-raket in juli 2006. Project Narom voor 2011 (1 kg/2 W)
OPTOS (2008/?)	INTA/Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (Spanje)	Technologische Triple Cubesat voor metingen "in situ" en waarnemingen (3 kg/6 W?)
PALAMEDE (2008/?)	Po liceo di Milano (Italië)	Technologische demonstratiesatelliet voor opnamen met middelhoge resolutie. Geen recent nieuws over de ontwikkeling (30 kg/40 W)
PALMSAT (2008/Russische Dnepr?)	University of Surrey (Verenigd Koninkrijk)	Picosatelliet voor de inspectie van objecten in de ruimte (minder dan 1 kg/2 W).
PERSEUS (2010/Indiase PSLV)	Universität Stuttgart/IRS (Duitsland)	Technologische minisatelliet voor het testen van elektrische voortstuwing (arcjet en plasma) van de sonde BW 1 (100 kg/500 W?)
SWISSCUBE (2009/?)	Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (Zwitserland)	Nanosatelliet van het type Cubesat, uitgerust met microsensoren om de gloed van de atmosfeer tijdens de nacht te bestuderen (1 kg/2 kW)
TUGSAT 1/BRITE-AUSTRIA (2008/Russische Dnepr?)	Technische Universität Graz + Universität Wien + Technische Universität Wien (Oostenrijk) + University of Toronto (Canada)	Verbeterde nanosatelliet van het type Cubesat, gestabiliseerd op 3 assen en de eerste Oostenrijkse satelliet. Maakt deel uit van de internationale constellatie Bright Target Explorer (BRITE) van vier identieke nanosatellieten voor astronomische waarnemingen van sterren (5 kg/6 W)
UNISAT 4B (2008/Russische Dnepr?)	Università di Roma 'La Sapienza' (Italië)	Test van een microsatelliet, afgeleid van Unisat 3 (in een baan om de aarde sinds juni 2004) en uitgerust om tekenen van nakende aardbevingen te bestuderen, met als doel een constellatie van satellieten tot stand te brengen (12 kg /15 W?)
UWE 2 (2009/?)	Universität Würzburg (Duitsland)	Experimentele nanosatelliet van het type Cubesat van de Universität Würzburg, bedoeld voor het testen van communicatie. Opvolger van UWE 1 die in oktober 2005 door SSETI Express werd uitgezet en met succes functioneerde (1 kg/2 W)
YES 2/SPACEMAIL (2006)	Delta-Utec Leiden (Nederland)	Young Engineers Satellite: demonstratie met behulp van een Russische Foton M3-capsule van een kleine opblaasbare microsatelliet die met behulp van een kabel (tether) naar de aarde terugkeert (20 kg voor de satelliet, 6 kg voor de kabel?)

© Theo Pirard/Space Information Center Belgium – juni 2007

*Aan de Universiteit van Surrey werken studenten aan deze picosatelliet die minder dan 1 kg weegt. © Surrey Space Centre*



(vervolg van pagina 17)

Om er studenten van het SSETI-programma bij te betrekken contacteerde doctoraatsstudent Jean-François Vandenrijt de ESA. De mechanismen voor de ontplooiing van de zonnepanelen voor de microsatteliet *European Student Earth Orbiter* (ESEO) wekte de interesse op van studenten in 2005-2006 (M. Bolland, G. Collignon, S. Cornez, X. Vandenplas) en 2006-2007 (L. Brixhe in het kader van een samenwerking met de hogeschool ISIL, A. Moxhet, J. Salazar, G. Schmetz). Deze activiteit werd gecoördineerd en gesuperviseerd door onderzoekers en docenten van het *Département d'Aérospatiale et Mécanique*. Luikse studenten (G. Gilles, P. Franssen, R. Woine) hebben voor de maansonde ESMO een microcamera voorgesteld om opnamen met een hoge resolutie te maken.

Bij het begin van het volgend academiejaar gaat de ULg twee masteropleidingen met een 'kosmisch' tintje aanbieden: ruimtewetenschappen (aan de Faculteit Wetenschappen) en ingenieur in lucht- en ruimtevaartwetenschappen (Faculteit Toegepaste Wetenschappen). Bij deze opleidingen zal er meer plaats zijn voor praktische activiteiten die binnen het bereik van de studenten liggen. Men denkt aan de realisatie van een Cubesat-nanosatelliet of een microsatteliet in samenwerking met de industrie, andere universiteiten of hogescholen. De ULg is hiermee niet aan zijn proefstuk toe. In de jaren '60 was de universiteit met zijn Astrofysisch Instituut en het LTAS (*Laboratoire de techniques aéronautiques et spatiales*, het huidige *Département d'Aérospatiale et Mécanique*) al een kern van moedige pioniers, die in Europa de uitdaging aangingen om instrumenten voor ruimtemissies te ontwikkelen.

**Théo Pirard**

*Het ESEO-team van de Université de Liège: van links naar rechts P. Beckers, G. Kerschen, P. Vueghs, J. Salazar, G. Schmetz, L. Brixhe, A. Moxhet. © Th.P./SIC*



*In het kader van zijn educatief programma steunt ESA het project YES 2 om een capsule in de ruimte uit te zetten met behulp van een kabel. Studenten uit verschillende Europese instellingen hebben dit origineel experiment nauwgezet voorbereid onder leiding van Delta-Utec in Leiden.*



[www.sstl.co.uk](http://www.sstl.co.uk)

*Voorstelling van de projecten van Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL) in Guildford (Verenigd Koninkrijk).*

[www.ee.surrey.ac.uk/SSC/CSER/UOSAT/oldindex.html](http://www.ee.surrey.ac.uk/SSC/CSER/UOSAT/oldindex.html)

*Geschiedenis van de ruimtevaartactiviteiten aan de University of Surrey in Guildford (Verenigd Koninkrijk).*

[www.irs.uni-stuttgart.de](http://www.irs.uni-stuttgart.de)

*Alle informatie over het Institut für Raumfahrtssysteme (IRS) van de Universität Stuttgart.*

[www.ilr.tu-berlin.de/RFA](http://www.ilr.tu-berlin.de/RFA)

*Info over microsattelieten bij het Institut für Luft- und Raumfahrt der Technischen Universität Berlin.*

[mtech.dk/thomsen/space/cubesat.php](http://mtech.dk/thomsen/space/cubesat.php)

*Een regelmatig bijgewerkt overzicht van de Cubesat-projecten.*

[cubesat.calpoly.edu](http://cubesat.calpoly.edu)

*De referentiesite voor het concept Cubesat, waarvan de plannen kunnen worden gedownload.*

[www.studentspace.aau.dk](http://www.studentspace.aau.dk)

*Het programma voor nanosatellieten aan de Aalborg Universitet (Denemarken).*

[www.sseti.net](http://www.sseti.net)

*Beschrijving van de huidige educatieve programma's (ESEO en ESMO) in het kader van het programma SSETI van ESA.*

[www.delta-utec.com](http://www.delta-utec.com)

*Informatie over het ESA-programma YES.*

[www.go-mars.de](http://www.go-mars.de)

*Vorbereidingen voor een 'amateurmissie' (Amsat Deutschland) naar de planeet Mars.*